

Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí
věže

Confirmation of Fan Cooling Tower Output

Student:

Jakub Těšický

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Radim Janalík, CSc

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Těšický**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení
Téma: **Ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže**
Confirmation of Fan Cooling Tower Output
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Popis používaných chladicích věží a princip jejich fungování
- Využití chladicích věží v energetice, v parních elektrárnách
- Popis metodiky a veličin potřebných pro vyhodnocení chladicího účinku chladicí věže
- Vyhodnocení chladicího účinku (chladicího výkonu) ventilátorové chladicí věže

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Rajniak a kolektiv: Tepelno-energetické a emisné meranie. Ister Science, 1997.
- [2] Nožička J.: Termomechanika. ČVUT Praha, 2001.
- [3] Mikyška, J., Šebek, J.: Chladicí věže – provoz a údržba. Praha: SNTL, 1989.
- [4] Kadrnožka, J. : Tepelné elektrárny a teplárny. Praha: SNTL, 1984
- [5] Páv, A.: Provoz a opravy parních turbín a příslušenství. Praha, 1959.
- [6] ČSN EN 13741, Přejímací zkoušky tepelného výkonu mokřých chladicích věží s umělým tahem, Červenec 2004
- [7] Technické publikace výrobců chladicích věž

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 11.5.2016.

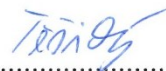

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 11.5.2016



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Těšický

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Valašské Meziříčí

Husova 400/27, 75701

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Radimu Janalíkovi, CSc. za spolupráci, užitečné a odborné rady a ochotu při řešení této práce. Dále chci poděkovat své přítelkyni Bc. Lucii Možíšové za trpělivost při řešení této práce a celé své rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TĚŠICKÝ, Jakub. *Ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce, 70 s. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky. Vedoucí práce Ing. Radim Janalík, CSc.

Bakalářská práce se zabývá ověřením chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže. V úvodu práce jsou popsány chladicí zařízení používané k ochlazení vody z průmyslových nebo technologických provozů. Na úvodní část práce navazuje téma přejímacích zkoušek uvedených v ČSN EN 13741. V praktické části je ze získaných poznatků přejímacích zkoušek zpracovaný výpočet na ověření výkonu ventilátorové chladicí věže, který je doložen výsledkovou zprávou. V závěru práce jsou na základě měření uvedeny grafické průběhy jednotlivých měřených veličin.

Klíčová slova: ventilátorová chladicí věž; přejímací zkouška; chladicí výkon

ANNOTATION OF THE BACHELOR THESIS

TĚŠICKÝ, Jakub. *Confirmation of Fan Cooling Tower Output*. Ostrava, 2016. Bachelor Thesis, 70 p. VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy. Thesis head Ing. Radim Janalík, CSc.

This bachelor thesis concerns with verifying cooling capacity of cooling fan tower. In the beginning there is a description of cooling devices used in cooling water from industrial or technological facilities. The following part deals with acceptance tests stated in ČSN EN 13741. In the practical segment there is processed calculation of the cooling tower's power thanks to acquired knowledge about acceptance tests. The calculation is documented in the resulting report. At the end of the work there are graphical continuances of each value based on their measurements.

Key words: cooling fan tower, acceptance test, cooling capacity

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Název veličiny	Jednotka veličiny
a_0	Technická práce	
F_P	Příkon motoru ventilátoru	kW
F_{PG}	Zaručený příkon motoru ventilátoru	kW
H	Geometrický výškový rozdíl v jednotkách tlaku	kPa
K_r	Kritický bod u ideálního RC cyklu	-
k	Označení místa měření	-
M_w	Množství vody	t.h ⁻¹
M_{wl}	Hydraulické zatížení věže Marley Fiberlass	m ³ .h ⁻¹
\dot{m}	Průtok vody	l.s ⁻¹
\dot{m}_b	Průtok vypouštěné vody	l.s ⁻¹
\dot{m}_G	Garantovaný průtok horké vody	l.s ⁻¹
\dot{m}_h	Průtok horké vody	l.s ⁻¹
\dot{m}_m	Průtok doplňované vody	l.s ⁻¹
p_b	Barometrický tlak v okolí	kPa
p_{di}	Dynamický tlak ve smluvním vstupu věže	kPa
p_{do}	Dynamický tlak ve smluvní výpusti	kPa
p_{ghi}	Gravitační tlak ve vstupním přívodu	kPa
p_{gh0}	Gravitační tlak ve smluvní výpusti	kPa
Δp_{io}	Celkový rozdíl tlaku mezi smluvním přívodem věže a smluvní výpustí	kPa
p_{si}	Atmosférický tlak ve smluvním vstupu věže	kPa
p_{so}	Atmosférický tlak ve smluvní výpusti	kPa
Q_a	Přivedené teplo	J
Q_b	Odvedené teplo	J
S_t	Interval teplotního zpoždění	min
$S_{\Delta tk}$	Standartní empirická odchylka	K
ΔTSK	Chladicí pásmo věže Marley Fiberlass	°C
Δt_a	Aritmetický průměr všech Δt_k	K

Δt_k	Rozdíl mezi změřenou teplotou studené vody t_{ck} a nominální hodnotou t_{cfk} v místě k	K
t_c	Teplota studené vody	°C
t_{ck}	Naměřená teplota studené vody v místě k	°C
t_{cfk}	Nominální hodnota studené vody určená z výkonových křivek	°C
t_h	Teplota horké vody	°C
t_m	Teplota doplňované vody	°C
t_v	Teplota vzduchu	°C
t_w	Vstupní teplota mokrého teploměru	°C
t_{wG}	Zaručená teplota mokrého teploměru	°C
V_S	Průměrný objem vody v nádrži pro studenou vodu	l
v_w	Rychlost větru	m.s ⁻¹
z	Rozsah ($t_h - t_c$)	K
z_G	Zaručený rozsah	K
δt_m	Chyba výsledku měření	K
δt_b	Základní odchylka	K
δt_r	Chyba v důsledku náhodných odchylek	K
δt_s	Chyba v důsledku systematických nezměřitelných vlivů	K
δt_t	Přípustná odchylka přejímací zkoušky včetně systematických a náhodných odchylek a základní přípustné odchylky	K
ε_x	Systematické odchylky pro jednotlivá zařízení	-
Φ_F	Vliv příkonu ventilátoru	K.1% ⁻¹
Φ_m	Vliv vodního proudu	K.1% ⁻¹
Φ_W	Vliv mokrého teploměru	K.°C ⁻¹
Φ_x	Přípustná odchylka měřicího zařízení x	-
Φ_z	Rozsah vlivu	K.°C ⁻¹
φ	Relativní vlhkost vzduchu	%

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Chladicí věže v energetice.....	2
2.1 Chladicí věže s přirozeným tahem.....	3
2.1.1 Konstrukční řešení tahových komínů.....	3
2.1.2 Sběrná nádrž chladicí věže.....	4
2.1.3 Hlavní části chladicí soustavy.....	5
2.2 Chladicí věže s nuceným tahem.....	8
2.2.1 Základní komponenty chladicích věží s nuceným tahem.....	9
2.2.2 Ventilátory.....	11
2.3 Mikrochladiče.....	12
2.3.1 Základní komponenty mikrochladičů.....	13
2.3.1 Popis často používaných typů mikrochladičů.....	14
2.3.2 Doplnující informace k mikrochladičům.....	18
3. Teoretické poznatky potřebné pro ověření výkonu chladicí věže.....	19
3.1 Rankin – Clausiův cyklus.....	19
3.1.1 Popis ideálního RC cyklu.....	19
3.1.2 Ts diagram RC cyklu.....	20
3.1.3 Základní komponenty RC.....	21
3.2 Parametry potřebné k určení výkonu ventilátorové chladicí věže.....	23
3.3 Měření.....	23
3.3.1 Teploty.....	23
3.3.2 Vodní průtok.....	25
3.3.3 Příkon ventilátoru.....	25

3.3.4 Čerpací tlak chladicí věže [20].....	26
3.4 Přejímací zkoušky	26
3.4.1 Příprava přejímacích zkoušek	27
3.5 Vykonání přejímací zkoušky	28
3.5.1 Přípustné odchylky za provozních podmínek	28
3.5.2 Rychlost větru	29
3.5.3 Provozní předpoklady během zkoušky	29
3.5.4 Frekvence odečítání.....	30
3.5.5 Délka trvání přejímací zkoušky.....	31
3.5.6 Platnost naměřených výsledku přejímací zkoušky.....	31
3.6 Vyhodnocení odečtených hodnot a určení výsledku přejímací zkoušky.....	32
3.6.1 Zjištění nominální hodnoty z výkonových dat.....	32
3.6.2 Porovnání odečtených hodnot se zaručenými výkonovými daty [20]	32
3.7 Dovolené odchylky zkoušky	33
3.7.1 Chyby v důsledku působících odchylek měření.....	33
3.7.2 Stanovení přípustných odchylek měřících zařízení.....	34
3.7.3 Stanovení přípustných odchylek měření [20].....	34
3.7.4 Určení náhodných chyb při měření [20]	35
3.7.5 Stanovení přípustné odchylky [20]	35
4. Ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže	37
4.1 Měřené parametry potřebné pro stanovení chladicího výkonu	37
4.2 Časové průběhy měřených veličin.....	38
4.2.1 Časový průběh teploty suchého teploměru	39
4.2.2 Časový průběh průtoku vody chladicí věží	39
4.2.3 Časový průběh teplot mokrého teploměru	40

4.2.4 Časový průběh příkonu ventilátoru	40
4.2.5 Časový průběh relativní vlhkosti	41
4.3 Stanovení garantovaných hodnot studené vody z výkonových křivek.....	41
4.3.1 Regresní přímky	41
4.3.2 Interpolace dat	42
4.4 Výpočet přípustných odchylek zkoušky	43
5. Závěr.....	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	49
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	50
SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ	51
SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍLOH	52
PŘÍLOHY.....	53
Příloha A – Výkonové křivky výrobce ventilátorové chladicí věže.....	53
Příloha B – Interpolace dat – Garantovaná teplota studené vody.....	55
Příloha C – Přípustné odchylky zkoušky.....	56
Příloha D – Protokol přejímací zkoušky.....	57

1. Úvod

Neustále stoupající spotřeba elektrické energie v globálním měřítku vyžaduje, aby se nejen s elektrickou a tepelnou energií nakládalo co nejekonomičtěji, ale aby se taky co nejehospodárněji vyráběla. Odpadní teplo tzv. nevyužitá část tepelné energie, se nejčastěji odvádí do okolí chladicími zařízeními. Tyto zařízení nacházíme v nemalém měřítku např. v průmyslových závodech, automobilech, občanských a obytných budovách. Malé chladicí zařízení využíváme téměř denně a můžeme se s nimi setkat běžně v našem okolí.

V elektrárnách a teplárnách nebo i v dalších zařízeních s potřebou velkého chladicího výkonu se setkáme s chladicími věžemi. Chladicí věže obecně dělíme do tří základních kategorií. Největším a nejrozšířenějším typem chlazení jsou ve velkých elektrárnách a teplárnách chladicí věže s přirozeným tahem komínu a ventilátorové chladicí věže s nuceným tahem vyvozeným ventilátory. Nemalou skupinou chladicích zařízení využívající se především v průmyslu jsou mikrochladiče. Mikrochladiče jsou o poznání menší než zmiňované předchozí dva typy využívané v energetice, funkce je však obdobná.

Hlavní náplní mé bakalářské práce je ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže podle ČSN EN 13741 o Přejímací zkoušce tepelného výkonu mokrých chladicích zařízení s umělým tahem. V praktické části se zabývám popisem měřených veličin, měřicími přístroji a následnou metodikou výpočtu dle ČSN EN 13741.

2. Chladicí věže v energetice

Všechna zařízení, která jsou určena k recirkulačnímu chlazení média, považujeme za výměník tepla. Ve výměníku se chladicí voda mísí se vzduchem. Vzduch se za pomoci nahřáté chladicí vody otepluje, tudíž zvyšuje svůj tepelný obsah. Voda předává své teplo do okolí těmito třemi způsoby: odpařováním, vedením a sáláním. Pára, přecházející z vody do vzduchu, odnímá vodě výparné teplo, snižuje tak její tepelný obsah a tím i její teplotu. V letním období je účinnost chlazení odpařováním 90 %, vedením jen 10 %, sáláním je jen nepatrné. [1]

Musíme brát zřetel na teplotní rozdíly jednotlivých ročních období. Chladicí účinek v zimním období se odpařováním sníží na cca 70 %. Z porovnání jednotlivých období je viditelné, že k zaručení dostatečného chladicího účinku je třeba v chladicích věžích vodu nějakým způsobem rozdělit. Zaručíme to především vytvořením velké plochy ke styku s obrovským množstvím proudícího vzduchu. Dostatečné množství proudícího vzduchu nám zaručí konstrukce komínu. U chladicích věží se setkáme se dvěma typy komínů a to s nuceným a přirozeným tahem. Účinnost komínu je závislá na daných povětrnostních podmínkách. Konstantní chladicí účinek dosahujeme nejlépe u chladicích věží s nuceným tahem vyvozeným ventilátorem. [1]

Rozdělení chladicích věží (viz obrázek č. 2.1):

- a) Chladicí věže s přirozeným tahem
- b) Chladicí věže s nuceným tahem
- c) Mikrochladiče



a) Chladicí věž s přirozeným tahem



b) Chladicí věž s nuceným tahem



c) Mikrochladič

Obrázek č. 2.1: Rozdělení chladicích věží [2, 3]

2.1 Chladicí věže s přirozeným tahem

S tímto typem chladicích věží se setkáme při chlazení průmyslových vod zejména v energetických, chemických a hutních provozech. Chladicí věže s přirozeným tahem se skládají ze tří částí: sběrné nádrže, tahového komínu, chladicí soustavy. Tahový komín vytváří nutný přirozený tah vzduchu k dostatečnému odvodu tepla s chladicí vody. Teplý vzduch vystupující z chladicího systému stoupá vzhůru tahovým komínem, důsledkem rozdílu objemových hustot. [1]

2.1.1 Konstrukční řešení tahových komínů

Konstrukční řešení chladicích věží s přirozeným tahem odpovídá materiálovým a technickým možnostem aktuální doby. Mezi nejrozšířenější patří tyto typy konstrukcí:

Tahové komíny provedené s dřevěnou konstrukcí se vyznačují především hraněným nebo nehraněným řezivem opatřeným vhodným pláštěm. Dřevěné nosné konstrukce byly navrhovány svým půdorysem do víceúhelníků tak aby se co nejvíce přibližovaly čtverci, později kruhu. Hlavní části nosné konstrukce byly tesařsky vázány a předmontovány na zemi. Konstrukce byla opatřena soustavou ližin pro upevnění vnějšího pláště. Komíny o výšce do 10 m byly stavěny na kotevní bloky, které byly umístěné ve sběrné nádrži. Výška chladicích věží s dřevěnou konstrukcí zásadně nepřesahuje 20 m včetně železobetonové stolice. Tento druh komínu se už v podstatě nestaví. U již postavených komínů musíme důsledně dbát na včasné opravy pláště, jelikož může dojít k poškození a zahnívání dřevěné konstrukce. Na konstrukci musí být již při stavbě nanесeny ochranné a impregnační nátěry. [1, 4, 5]

Tahové komíny provedené s nosnou ocelovou konstrukcí tvoří ocelové profily, které jsou při montáži opatřeny ochrannými nátěrovými hmotami, tak aby později nedošlo ke korozi. Opláštění konstrukce je ze speciálních profilových desek. V dřívější době jsme se mohli setkat i s řešením dřevěného pláště, s azbestocementovými profilovými deskami nebo s vlnitým eternitem. Stavební výška chladicí věže s ocelovou konstrukcí bývá včetně železobetonové konstrukce maximálně 60 m. Stavebnicová ocelová konstrukce je snadno opravitelná a zaručuje se vysokou trvanlivostí. Velkými výhodami při stavbě tohoto typu konstrukce jsou snadná údržba, nízká provozní hluchnost a poruchovost. Ocelové konstrukce se přestaly realizovat v závěru padesátých let, kdy byly zcela nahrazeny železobetonovým řešením. [1, 4, 5]

Železobetonové tahové komíny tvoří železobetonová tenkostěnná skořepina. Chladicí věž je geometricky řešená, jako tenkostěnný rotační hyperboloid stojící na soustavě sloupových prvků. Tloušťka skořepiny je proměnlivá. Ve spodní části věže je skořepina otevřená spolu se šikmými sloupy pro snadné proudění chladicího vzduchu. Nachází se zde také vyspádovaný bazén, který je opatřen odtokovými objekty pro odtok zchlazené vody. Výška příhradoviny, která tvoří vstupní okna vzduchu, musí být pečlivě navrhována. Při návrhu výšky je třeba mít na paměti, že pro protiproudý systém je vstupní okno faktorem ovlivňující výtlačnou výšku čerpadel. Čerpání chladicí vody po rozstřík není zanedbatelný činitel, příkon cirkulačních čerpadel je přibližně 1 % instalovaného výkonu elektrárny. Tento údaj můžeme zanedbat u malých chladicí věží. Pro turbíny 1000 MW je příkon čerpadel na 1 m. výšky 0,5 MW a proto je důležité vstupní okna vzduchu příliš nezvyšovat. Skořepiny tahových komínů s železobetonovou konstrukcí jsou velmi citlivé na přesnost a kvalitu stavebních prací. Stavba věže je prováděná pomocí speciálního hydraulického lešení a bednění. Výška věže se pohybuje od 30 do 200 m. Ve vnitřní vestavbě věže jsou uloženy prefabrikované železobetonové sloupy a nosníky pro uložení chladicí soustavy. Životnost věže závisí na kvalitě výstavby a agresivitě prostředí, ve kterém se nachází. Běžná životnost skořepiny je 40 let, záleží však jak často aplikujeme ochranné nátěry ve spodní části věže, zejména tam kde se nachází chladicí komplex. [1, 4, 5]

2.1.2 Sběrná nádrž chladicí věže

Sběrné nádrže se vyrábějí ze železobetonu, půdorysem je přizpůsobena velikosti tahového komína a chladicí soustavy. Hloubka nádrže bývá různá, musí však pojmout množství vody nezbytné pro dobu provozu, aby bylo možné bez poškození zastavit čerpací zařízení v případě jeho poruchy. Hladina vody ve sběrné nádrži je navrhována tak, aby odběr pro spotřebiče byl zajištěn samospádem. Sklon dna nádrže je asi 0,5 až 1 % ke kalové jímce s odkalovacím potrubím. Deset až dvacet centimetrů nad předpokládanou hladinu vystupují železobetonové systémové pilířky. Na pilířcích je ukotvena konstrukce chladicího systému. Pro zakotvení tahového komínu ze dna popř. ze stěn vystupují železobetonové pilíře, které jsou vysoké 6 až 10 m. Tyto pilíře nesou železobetonový věnec s kotevními otvory pro zakotvení ocelové konstrukce tahového komína. Nedílným zařízením sběrné nádrže je odtoková komora udržující stálou vodní hladinu. Na velikosti věže popř. sběrné nádrže závisí velikost česlí, sít a hradidel se stavidly. Na odtokovou komoru je napojen odtokový kanál nebo potrubí. Tloušťka stěn i dna nádrže je v průměru 25 až 30 cm. Proti agresivním vodám jsou stěny nádrže chráněny izolací. Kvůli opravám popř. čištění je sběrná nádrž

včetně odtokové komory rozdělena na polovinu, abychom i za provozu mohli jednu část opravit nebo vyčistit. Hrana nádrže musí být nejméně 20 až 30 centimetrů nad okolním terénem aby nedošlo k zanášení nečistotami hnanými deštěm nebo větrem. [1]

2.1.3 Hlavní části chladicí soustavy

Dle autora Páva v knize provoz a opravy parních turbín a příslušenství je chladicí soustava druhou funkčně nejdůležitější částí chladicí věže. Chladicí soustava je vlastně výměník tepla, který se skládá z nosné konstrukce, chladicích elementů vytvářejících odpařovací plochu, rozvodu vody s nosnou konstrukcí a pláště chladicí soustavy. [1]

2.1.3.1 Konstrukce chladicích soustav

Konstrukční řešení sloupů pro podepření chladicí soustavy není příliš obtížné, je přizpůsobeno konkrétní chladicí soustavě a materiálovým možnostem pro reálnou stavbu. Rozlišujeme dva typy řešení podpurných konstrukcí, pravoúhlé a radiální. Uspořádání trámů a sloupů radiálním způsobem je klasickým řešením podpurné konstrukce výlučně používané pro chladicí věže s přirozeným tahem. Nepopíratelnou výhodou řešení je dokonalé přizpůsobení půdorysu chladiče, které zaručovalo pravidelné osazení elementy chladicího systému po obvodu tahového komína. Tento typ byl v závěru 70. let nahrazen pravoúhlým řešením. S radiálním typem se setkáme už jen u rekonstrukcí stávajících věží.

Pravoúhlý typ podpurné soustavy pro chladicí systémy se v současné době užívá u všech nových chladicích věží s přirozeným tahem. Materiály používané pro stavební konstrukční systémy stanovené pro chladicí soustavy byly vždy uzpůsobené materiálově základně chladicích systémů. Konstrukcemi ze dřeva byly podpírané dřevěné a plastové chladicí soustavy. Azbestocementové chladicí systémy s velkou hmotností a trvanlivostí byly podpírány železobetonovou konstrukcí.

Chladicí soustavy s dřevěnou podpěrnou konstrukcí se vyskytují u radiální i pravoúhlé úpravy a skládají se z dřevěných průvlaků, trámů pro podepření, sloupových opěr, rozvodu vody a eliminátorů. Na železobetonové sloupky vystupující nad hladinu sběrné nádrže jsou osazovány sloupy dřevěných konstrukcí. Výhoda dřevěné konstrukce je v její hmotnosti, ta nám hlavně zajistí snadnou manipulaci při montáži. Výhoda však může být i nevýhodou, musíme zajistit pečlivé zavětrování a zajistit konstrukci proti bočnímu posuvu. Dřevěné nosné konstrukce mají životnost nanejvýš 10 let. O dřevěnou konstrukci nemusíme nikterak náročně pečovat, údržba závisí jen na malých opravách, které zabrání hnilobě. Konstrukce je impregnovaná.

Podpěrné konstrukce ze železobetonu se skládají z průvlaků, trámů, sloupových prvků a výztuh proti příčnému posuvu. Železobetonové sloupy jsou umístěny na železobetonové patky na dně sběrné nádrže. Životnost železobetonových konstrukcí je 40 let a nepotřebují téměř žádné opravy. Jedinou nevýhodou může být nízká odolnost vůči agresivním chladicím vodám. Nevýhodu lze však potlačit vhodnou úpravou chladicí vody. [4]

2.1.3.2 Chladicí soustava

Podle uspořádání dělíme chladicí soustavu na soustavu kapkovou, blánovou a smíšenou. Soustava kapková vytváří rozstřík vody v kapky, tyče s různým průřezem jsou vodorovně uloženy. Soustava blánová je na rozdíl od předchozího typu zavěšená svisle. Plošné prvky tvoří vodní film, který stéká po obou stranách elementu. Soustava smíšená kombinuje oba předchozí typy soustav. Chladicí soustavy jsou z plastických hmot, osinkocementových desek nebo folií. [6]

2.1.3.3 Rozvod vody

Jedná se o zařízení uvnitř chladiče nad chladicí soustavou, kterým se přivádí voda. Nejčastěji se setkáme s typem kapkové sprchy. Velikost a rozložení rozvodné sítě jsou podmíněny co největší smáčitelností při zvoleném hydraulickém vytížení. Rozvod vody je z jedné hlavní součástí chladicí soustavy. Na jeho správnosti provedení záleží výkon chladicí soustavy. Teplá chladicí voda je dopravována výtlačnými čerpadly do výšky 6 až 10 metrů a následně dochází k rozvedení po celém průřezu chladiče. [1]

2.1.3.4 Bezpečnostní prvky

Ke každému zařízení patří nezbytné bezpečnostní prvky. Mezi tyto prvky patří nejrozumnější zábradlí, lávky, schody, žebříky. Všechny tyto prvky chrání obsluhu a údržbáře před možným zraněním. Zpravidla jsou ze stejných materiálů jako komponenty věže tj. dřevo, ocel, železobeton. [6]

2.1.3.5 Vedení vzduchu

Důležitým parametrem u všech chladicích soustav je správný přívod vzduchu do chladicí soustavy. Nejvíce záleží na rovnoměrném rozdělení vzduchu po celém průřezu chladicí věže. Chladicí vzduch do systému může vstupovat příčným prouděním, protiproudem nebo kombinací těchto dvou způsobů. Vzduch vstupující do soustavy protiproudem je nasáván otvory v dolní části chladicí věže a následně je působením tahu

vyvozeným komínem přirozeně hnán chladicí soustavou proti směru toku ochlazovací vody. Jedná se o nejúčinnější způsob vedení vzduchu a používá se hlavně u chladicích věží, které mají téměř totožný půdorys chladicí soustavy s půdorysem paty tahového komína. Tento typ uspořádání je nejobvyklejší u železobetonových chladicích věží typu Interson, který je znázorněn na obrázku č. 2. 2.



Obrázek č. 2.2: Chladicí věže Interson v Jaderné elektrárně Temelín [7]

U příčného proudění vzduchu vstupuje vzduch nasávacími otvory a kolmo prochází na směr chladicí vody. Vzduch se v chladicí soustavě obrátí téměř o 90° a odchází tahovým komínem. Příčné proudění vzduchu se uplatňuje zejména u chladicích věží s větším půdorysem chladicí soustavy než je půdorys paty komínu.

Při proudění vzduchu chladicím systémem musí být překonán celkový odpor, který se skládá z odporu při vstupu do chladiče, z odporu průchodem chladicí soustavou a z odporu při výstupu z chladiče.

Odpor v chladicím systému je největší ze všech zmíněných, proto musíme dbát na správné konstrukční řešení jednotlivých částí, aby působily co nejméně na změnu proudění vzduchu. Porovnáním odporů u kapkové a blánové soustavy, zjistíme, že lépe na tom je soustava kapková. Z důvodu správného proudění vzduchu i ve středu chladicí věže je hustota chladicí soustavy a intenzita sprchy řešena tak, aby byl odpor vzduchu co nejmenší. [1]

2.2 Chladicí věže s nuceným tahem

Charakteristickým znakem chladicích věží s nuceným tahem je nucený oběh atmosférického vzduchu, který zajišťují ventilátory speciálně navrženy pro potřebný chladicí výkon. Ve skutečnosti je ventilátorová chladicí věž kontaktním výměníkem tepla. Podle toku chladicí kapaliny a vzduchu rozlišujeme konstrukční uspořádání na protiproudé a křížoproudé. Většina chladicích věží s nuceným tahem má protiproudé uspořádání s gravitačním tokem chladicí kapaliny a nuceným tahem vzduchu, zajištěný sacími popřípadě tlačnými ventilátory.

Ventilátorové chladiče jsou navrženy jako nosný skelet vyráběný z monolitického, popř. prefabrikovaného železobetonu s bazénem na chladicí kapalinu. Charakteristické pro ventilátorové chladicí věže je možnost řazení do sekcí, které nám umožní dosažení násobku jejich výkonu. Řazení do sekcí je detailně znázorněno na obrázku č. 2.3. Hlavní výhodou chladicích věží s nuceným tahem je zajištění účinnosti chlazení i za nepříznivých povětrnostních podmínek. V porovnání s chladicími věžemi s přirozeným tahem lze dosáhnout podstatně nižší teploty chladicí vody až na 17°C. Využitím tohoto typu chladicí věže v elektrárnách můžeme dosáhnout větší účinnosti elektrárny, zároveň však stoupne vlastní spotřeba elektrické energie na pohon ventilátorů. [1, 4]



Obrázek č. 2.3: Řazení ventilátorových chladicích věží do sekcí [8]

2.2.1 Základní komponenty chladicích věží s nuceným tahem

Bazén, popř. nádrž slouží k zachycení ochlazované vody sprchávající s chladicího systému, konstrukčně je řešený jako otevřená vodní nádrž v úrovni terénu. Hloubka bazénu závisí na požadavcích provozovatele, který bazén může používat jako požární nádrž nebo jako zásobárnu technologické vody pro nejrůznější využití při výrobě. Bazén se vyrábí z monolitického železobetonu. V dřívější době se bazény vyráběly s prefabrikovaného železobetonu, tento typ se však už nyní nevyskytuje z důvodu časté netěsnosti a následného úniku chladicí vody. Odhadovaná životnost monolitických bazénů se pohybuje okolo 50 let. Údržba bazénu není nikterak nákladná, stačí občasné živичné nátěry povrchů z důvodu možné agresivity chladicí vody. [4]

Skelet chladicích věží s nuceným tahem je nejčastěji monolitický, může být i z prefabrikovaného železobetonu se soustavou sloupků, trámů a průvlaků. Je zakončený železobetonovou plošinou ventilátorů s difuzory. Železobetonové skelety nepotřebují ze strany provozovatele žádnou speciální údržbu. Můžeme se však setkat s poškozením styků prefabrikátů u prefabrikovaných skeletů. Projevem poškození je prasklina, která vznikne dodatečným namáháním prefabrikované konstrukce. Nesmíme opomenout i poškození povětrnostní erozí způsobující rozdrolování zálivkové hmoty na styku prefabrikátů. Tyto dvě zmíněná poškození mají za následek vnikání vody z okolí do poškozených míst. Agresivita srážkových vod a povětrnost vyvozují odlupování svrchní vrstvy betonářské výztuže. V důsledku těchto zmíněných problémů má voda možnost vniknout až do ocelové konstrukce, kde zapříčiňuje korozi. Toto poškození je velmi závažné, vede k celkovému poškození železobetonového skeletu. Jediným opatřením je rychlá oprava železobetonového skeletu, pomocí cementové omítky. Druhým typem porušení železobetonového skeletu prefabrikovaných i monolitických jsou námrazové deformace, zejména v místech trámů sloupů a vstupu vzduchu. Mrazovým poškozením lze zamezit jen snížením nasákavosti konstrukce pomocí živočišných nátěrů nanesených včas, pokud již nedošlo k poškození železobetonu. [4]

Požadavek na výrobu menších chladicích věží s nuceným tahem, vedl k novému konstrukčnímu řešení skeletů. Klasické prefabrikované železobetonové řešení bylo nahrazeno ocelovým skeletem s ochranou povrchovou úpravou. Konstrukční uspořádání horní části ventilátorových chladicích věží je shodné s klasickým železobetonovým řešením. Skelety s ocelovou konstrukcí se liší pouze jen v konstrukčních detailech. Ocelové skelety netrpí popsávanými závadami, které jsou charakteristické pro železobetonové konstrukce,

musíme však dbát na dostatečnou a včasnou údržbu ocelového skeletu ochrannými nátěry. Součástí skeletu chladicích věží s nuceným tahem je plošina ventilátorů s difuzory. [4]

Plošina ventilátorů je stropní deska skeletu ventilátorové chladicí věže a není nikterak náročná na údržbu. Náročné na údržbu jsou však všechny ostatní komponenty umístěny na této plošině. Komponenty jsou vystaveny extrémním podmínkám při provozu ventilátorové chladicí věže. Nejvíce namáhaná je ocelová konstrukce, difuzor ventilátorů, pomocné mechanismy a vlastní ventilátorová jednotka.

Ostatní doplňkové komponenty tj. zábradlí, osvětlení, plechové krytí elektrického vedení trpí neustále sprchávající vodou v důsledku kondenzace par nad difuzorem. Účinnou ochranou jsou časté nátěry vhodnými povlaky do vlhkých prostředí. [4]

Difuzor nám slouží k zlepšení přechodu proudu vzduchu hnaného ventilátorem do okolí. Difuzory jsou materiálově řešeny obdobně jako skelety. Nejčastěji bývají vyrobeny z ocelového plechu nebo laminátu, které se sestavují přímo v místě montáže ventilátorové chladicí věže s ventilátory. Ocelové difuzory je nutno uzemnit. U článkových ventilátorových chladičů jsou difuzory železobetonové, válcového tvaru. Difuzory mají životnost stejnou jako skelety ventilátorových chladicích věží. [4]

Plášť chladicích věží s nuceným tahem je tvořen plošnou výplní mezi rámovými příčkami skeletu a je detailně upnutý na skelet. Ocelové skelety mají plášť s metalickou popř. plastovou bází, připevněnou pomocí šroubových spojů. Metalické pláště jsou vyrobeny s profilového hliníkového plechu opatřenou eloxovou úpravou povrchu. Metalické pláště mají vysokou trvanlivost, musí se dbát na správnost provádění šroubových spojů, jelikož by mohlo dojít k elektro korozi hliníkového profilu při styku s ocelovými součástmi. S pláštěm z azbestocementových vlnitých desek se setkáme u železobetonových skeletů. [4]

Chladicí komplex je tvořen chladicím systémem, eliminátorovou mříží a rozvodem vody s rozstříkem. Ventilátory jsou pro chladicí věže s nuceným tahem doplňkovým zařízením zajišťující dostatečný průtok chladicího vzduchu chladicím komplexem. Charakteristickým znakem chladicích věží s nuceným tahem je jejich řazení do buněk. Všechny buňky chladicí věže bývají opatřeny chladicím komplexem, který pracuje samostatně. Řazení jednotlivých chladicích věží není žádným způsobem omezen, věže mohou tvořit sekce skládající se i s desítek buněk. [4]

Ventilátorové jednotky jsou nedílnou součástí chladicích věží s nuceným tahem. Ventilátorové jednotky zajišťují potřebné proudění vzduchu chladičem. Ventilátory lze

regulovat změnou příkonu nebo natáčením lopatek. Vyšší vibrace ventilátorových jednotek jsou spolu s nevyvážeností lopatek hlavním důvodem nižší životnosti. [4]

Eliminátorová mříž je osazována v horní části ventilátorové chladicí věže. Mříž je vzdálená okolo dvou metrů od rozstřikovacích trysek. Eliminátorové mříže je nevhodné osazovat v blízkosti ventilátorů nebo nad rozstřikovací trysky. Eliminátory v blízkosti ventilátoru mají za důsledek nežádoucí ovlivnění účinnosti eliminátorů z důvodu vyšší rychlosti proudění vzduchu v zužujícím se místě profilu chladiče.

U eliminátorů usazených těsně nad rozvodem vody je možnost zvýšení únosu kapek tím, že drobná frakce kapkového rozptylu je unášena proudící vzdušinou bez jakéhokoliv schopnosti zachycení eliminátorovou mříží. [4]

Rozvod vody je řešený u všech typů chladicích věží s nuceným tahem jako tlakový tzn. v uzavřeném potrubním systému. Hlavní přívod chlazené vody je opatřen pro každou chladicí věž samostatným regulačním orgánem. Z hlavního přívodu chlazené vody se rozbíhá pravoúhle řešená osnova trubek opatřená na konci rozstřikovacími tryskami. Tlak v potrubí nepřevyšuje 50 kPa. [4]

2.2.2 Ventilátory

V praxi se používají tlačné i sací ventilátory. Oba tyto typy jsou axiální, nízkotlaké, pomaluběžné s relativně nízkou vlastní spotřebou. Axiální ventilátory používáme z důvodu proudění vzduchu v celém průřezu rotoru tj. ve směru osy ventilátoru. Potřebné množství proudícího vzduchu závisí na tepelné bilanci chladiče. Účinnost ventilátoru i tlačnou výšku máme možnost ovlivnit provozními podmínkami chladiče tak, aby byl výkon ventilátorů co nejnižší. Nízkotlaké ventilátory požadujeme z důvodů dbání na co nejmenší odpor chladicího systému. Pomaluběžné zařízení volíme, jelikož vykazují nejlepší účinnost. Ventilátorové listy bývají uchycené k náboji rotoru tak, že lze řídit náběh a tím i výkon ventilátorů.

Pohon tlačných ventilátorů, spolu s elektromotorem umístěných na sloupovém rámu popř. ventilátorové plošině je proveden klínovými řemeny. Elektromotor sacích ventilátorů je umístěný vně difuzoru spolu s Hardy spojkou a převodovou skříní. Ventilátor a převodová skříň bývají většinou umístěny na železobetonovém nosníku. Elektromotory umístěné vně difuzoru často trpí vlhkostí, neboť nasávají vodu. Poslední typ chladičů má umístěné elektromotory na střeše ve speciální kryté strojovně, která chrání elektromotory před vlivem

počasí. Elektromotory pro pohon sacích i tlačných ventilátorů jsou třífázové, asynchronní a s kotvou na krátko. Příklad ventilátorové jednotky je uveden na obrázku č. 2.4[1]



Obrázek č. 2.4: Ventilátorová jednotka s elektromotorem [9]

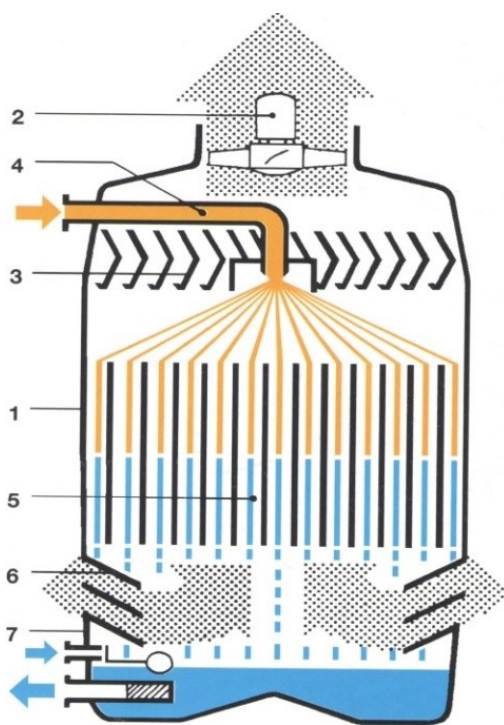
2.3 Mikrochladiče

Malé mokré atmosférické chladiče spadají do kategorie mikrochladičů. Setkáme se s nimi při chlazení průmyslové vody u technologické výroby. Popis jednotlivých částí mikrochladiče je zobrazen na obrázku č. 2.5. Voda přiváděná do horní části mikrochladiče je rozprašena tryskami na chladicí výplň z tvarových desek, stéká po stěnách a předává teplo nasátemu vzduchu spodní části mikrochladiče. Vzduch je nasáván pomocí sacích ventilátorů v horní části mikrochladiče. [10]

Jedná se o jednoventilátorové chladiče montované mimo staveniště, uplatňující se pro potřebu chlazení malého množství chladicí vody. Charakteristickými parametry jsou nízká hmotnost, malé rozměry a požadavky na prostor. Rychlost instalace a uvedení do provozu nám usnadňuje snadná přeprava zařízení na námi zvolené montážní místo. Mikrochladiče můžeme vidět na střechách průmyslových budov i ve volných prostranstvích firem. Limitujícím faktorem je vyšší hlučnost způsobená neustálým sprcháváním vody a běžícími ventilátory. Objednavatel mikrochladiče musí připravit napojovací místa oteplené i ochlazované vody, přívody elektrické energie a základovou desku pro osazení patek mikrochladiče. [4]

Velikost mikrochladiče závisí:

- na množství odvedeného tepla s chladicího zařízení;
- na množství ochlazované cirkulační vody;
- na přivedené teplotě vody do mikrochladiče;
- na jakou požadovanou teplotu chceme cirkulační vodu ochladit;
- na relativní vlhkosti, teplotě vzduchu okolí a teplotě vlhkého teploměru;[10]



Popis hlavních částí mikrochladiče:

1. plášť
2. axiální ventilátor poháněný elektromotorem
3. odlučovač vodních par
4. rozvod vody
5. žaluzie
6. sběrná nádrž

Obrázek č. 2.5: Schéma hlavních částí mikrochladiče [10]

2.3.1 Základní komponenty mikrochladičů

Chladicí systém bývá vyroben z profilovaných PVC desek o malé tloušťce a je totožný se systémem v chladicích věžích. [4]

Rozstřík vody je proveden pomocí rozstříkovací trysky, která umožňuje kvalitní rozstřík vody bez použití rozstříkovací misky. Trysky jsou dodávány výrobcem v několika velikostech podle požadavku průtočného množství chladicí vody. Stálý tlak pohybující se v rozmezí 20 a 50 kPa, u malých trysek až 100 kPa zajistí správné fungování trysek. Dodavatelem stanovený provozní tlak trysek musí být dodržovaný, neboť jeho nedodržení může způsobit zhoršení rozstříku, tzn. snížení výkonu mikrochladiče. Na správnou funkci trysek má vliv i čistota recirkulační vody, jelikož naváděcí otvor vody je relativně malý. Ucpání naváděcího otvoru trysky by výrazně ovlivnilo funkci trysky.

Trysky používané v mikrochladičích mají omezovač, který slouží k rozstříku vody na čtvercovou základnu. Bez omezovače je rozstřík vody tryskou kruhový, nedosáhli bychom rovnoměrného rozstříku vody a tímto by se výrazně zhoršil výkon chladiče. V zimních obdobích může stékající voda na plášti chladiče namrzat. [4]

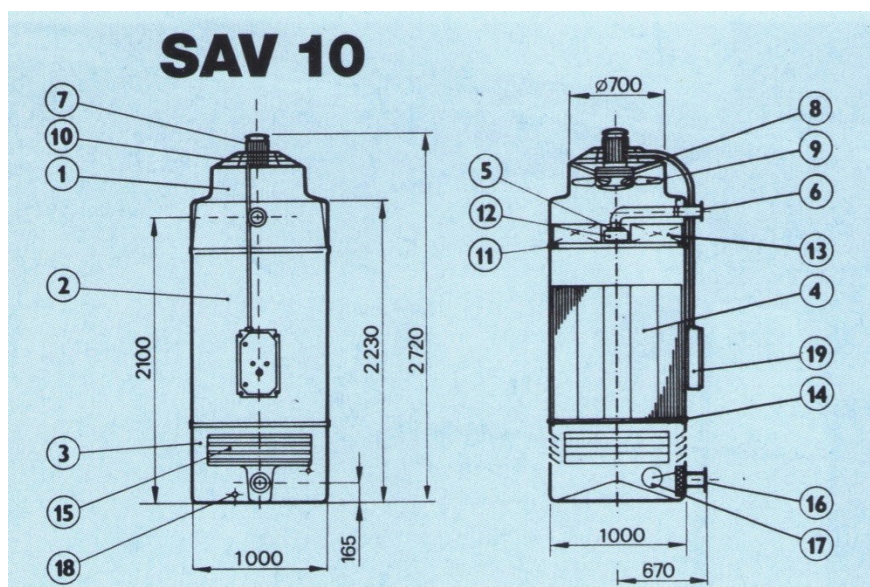
Ventilátorové jednotky používané v mikrochladičích mají náboj ventilátorů spojený přímo s hřídelí elektromotoru. Větší mikrochladiče bývají opatřeny převodovkou, které mají typovou konstrukci vyhovující provozu ventilátorových jednotek. Velká nevýhoda převodovek umístěných v mikrochladičích je malá životnost s velice častou poruchovostí. [4]

Eliminátory používané u mikrochladičů jsou vyrobeny z plechu nebo plastu, mají vysokou životnost a nepotřebují výraznou údržbu. Eliminátorová mříž slouží k zmenšení únosu chladicí vody. Poškození eliminátoru je zpravidla způsobeno poruchou lopatek ventilátorové jednotky, popř. při montáži ventilátoru. Účinnost eliminátorů u všech mikrochladičů je vyšší jak 95 %. Poškozením eliminátoru se únos vody dokáže vyšplhat až na 50%. Únos vody větrem je také jeden z nežádoucích faktorů, kterým se snažíme vyhnout montováním závětrných stěn. [4]

2.3.1 Popis často používaných typů mikrochladičů

2.3.1.1 Mikrochladič SAV 10

Mikrochladič SAV 10 je tvořen třídílnou sklolaminátovou skříní. Ve spodní části skříně je umístěna vana pro shromažďování ochlazované vody, která je následně odváděná přes síto zpět do chladicího okruhu. Do vany mikrochladiče se montuje plovákový ventil pro připojení přívodního potrubí vody spolu s vypouštěcím ventilem. Ve stěnách pláště jsou umístěny otvory se žaluziemi pro vstup chladicího vzduchu. Střední část mikrochladiče je tvořena chladicí výplní, na kterou je voda sprchávána tryskou. Dle požadovaného množství ochlazované vody lze volit dva velikostní typy trysek. K zachycení kapiček vody slouží eliminátor umístěný nad tryskou. O dopravu vzduchu se stará axiální sací ventilátor poháněný napřímo třífázovým elektromotorem. Všechna potřebná kabeláž zakončená rozvodovou skříní je zakrytovaná a připevněná na boční stěně chladiče. Rozvodová skříně obsahuje silové obvody, signalizaci, ovládání elektromotoru a regulátor ventilátoru. Regulátor ventilátoru umožňuje spínání ventilátoru v závislosti na námi požadované teplotě vody. Všechny nezbytné ovládací prvky lze jednoduchým způsobem umístit do strojovny nebo velínu. [10]



Obrázek č. 2.6: Schéma mikrochladiče SAV 10 [10]

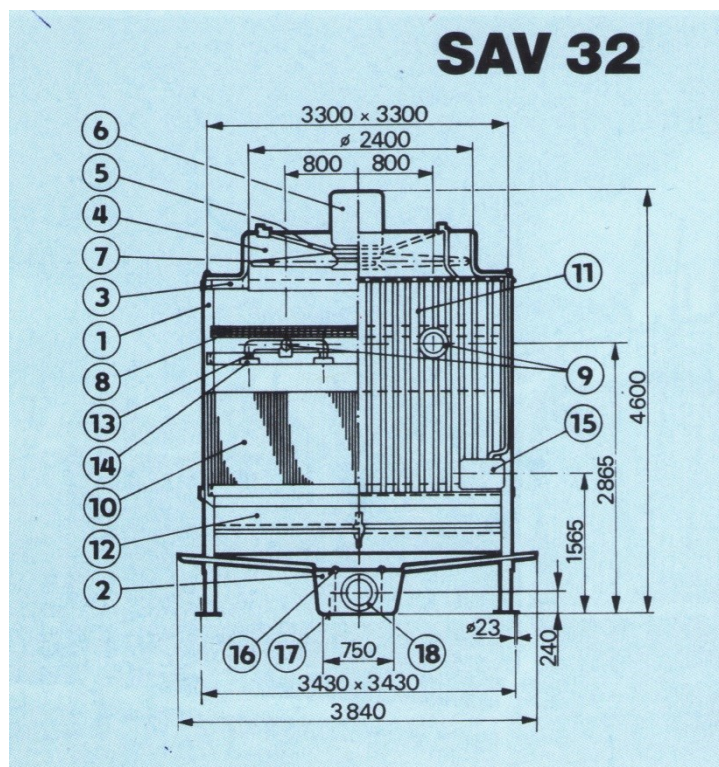
- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1. horní díl pláště | 2. střední díl pláště | 3. spodní díl pláště |
| 4. chladicí výplň | 5. trysky | 6. přívod vody |
| 7. elektromotor ventilátoru | 8. nosič elektromotoru | 9. ventilátor |
| 10. kryt ventilátoru | 11. nosič eliminátoru | 12. omezovač rozstříku |
| 13. eliminátor | 14. rám chladicího systému | 15. žaluzie |
| 16. vratné potrubí | 17. plovákový ventil | 18. vypouštěcí kohout |
| 19. rozvaděč el. instalace | | |

Tabulka č. 2.1: Základní výkonové parametry mikrochladiče SAV 10 [10]

Základní výkonové parametry mikrochladiče SAV 10		
Název parametru	Veličina	Hodnota/Jednotka
Množství vody	M_W	8,6 t.h ⁻¹
Teplota vstupní vody	t_h	34 °C
Teplota ochlazené vody	t_c	24 °C
Při teplotě vzduchu	t_v	15 °C
Při relativní vlhkosti vzduchu	φ	70 %

2.3.1.2 Mikrochladič SAV 32

Nosná ocelová konstrukce mikrochladiče je sestavována na místě určení zákazníkem. Stěny pláště jsou vyrobeny z profilovaného sklolaminátu, horní díly pláště ze sklolaminátových dílů. Všechny díly jsou připevněny na ocelovou konstrukci. Ve spodní části mikrochladiče je připevněná sklolaminátová sběrná vana sloužící pro zachycení zchlazené vody. Na delších stranách chladiče jsou namontovány okapové desky, které napomáhají svádění zchlazené vody do sběrné nádrže. Vana je opatřena odvodem ochlazené vody a sítím pro případné nečistoty. Mezi okapními deskami a pláštěm vstupuje vzduch do mikrochladiče. Namontované žaluzie zajistí zamezení úletu vody vlivem bočního větru. Ve střední části chladiče se nachází chladicí systém, který je osazen na ocelovém rámu. Teplá voda je do mikrochladiče přiváděná pomocí dvou vodorovných trubek s osmi rameny, zakončenými tryskami. Ochlazovaná voda je rozprášena tryskami se čtvercovým omezovačem umístěným na tělese trysky. Na výběr jsou dvě velikosti trysek, vždy záleží na množství ochlazované vody. Bloky eliminátorů mikrochladiče jsou umístěny nad rozvodem vody. Dostatečné dopravní množství vzduchu je zajištěno axiálním sacím ventilátorem umístěného v horní části mikrochladiče. Ventilátor je umístěný vně difuzoru a je poháněný čelní převodovkou elektromotorem. Elektromotor lze regulovat změnou otáček a to přepínáním pólů 4/8. Pro elektrické připojení elektromotoru je na plášť připevněná přechodová skříň. Skříň obsahuje termostat, přívodní svornici s odpojovačem a signalizaci ovládacího kontaktu dojde-li k zamrznutí chladicího systému. Pomocí elektrického rozvaděče napojeného na elektrické vedení se celé zařízení uvede do provozu. [10]



Obrázek č. 2.7: Schéma mikrochladiče SAV 32 [10]

- | | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1. nosný systém | 2. sběrná vana | 3. horní rám |
| 4. difuzor | 5. rám elektropřevodovky | 6. elektromotor s převodovkou |
| 7. ventilátor | 8. eliminátor | 9. rozvod vody |
| 10. chladicí systém | 11. plášť | 12. žaluzie |
| 13. tryska | 14. omezovač rozstřiku | 15. připojovací skříň el. instalace |
| 16. síto | 17. výpust | 18. příruba odpadního potrubí |

Tabulka č. 2.2: Základní výkonové parametry mikrochladiče SAV 32 [10]

Základní výkonové parametry mikrochladiče SAV 32		
Název parametru	Veličina	Hodnota/Jednotka
Množství vody	M_w	180 t.h ⁻¹
Teplota vstupní vody	t_h	34 °C
Teplota ochlazené vody	t_c	24 °C
Při teplotě vzduchu	t_v	15 °C
Při relativní vlhkosti vzduchu	φ	70 %

2.3.2 Doplňující informace k mikrochladičům

Základní zásady instalace a obsluhy mikrochladiče :

- Mikrochladiče se umísťují do míst, kde mají pro činnost zabezpečený volný přívod dostatečného množství vzduchu (střechy budov, nástavby, volné prostranství na zemi).
- Před samotnou instalací mikrověže je nutné nachystat připojení k chladicímu okruhu, přívod přídavné vody, elektrické sítě a základy pro umístění mikrověže.
- Mikrochladiče je zakázáno montovat do míst s nebezpečím výbuchu.
- Mikrochladiče nejsou vhodné pro chlazení agresivní vodou.
- Zařízení není náročné na obsluhu, stačí zajistit občasný dohled a klasické periodické prohlídky.
- Životnost a bezporuchový provoz mikrověže výrazně závisí na kvalitě používané vody i nasávaného vzduchu. [10]

3. Teoretické poznatky potřebné pro ověření výkonu chladicí věže

3.1 Rankin – Clausiův cyklus

Rankin-Clausiův cyklus je tepelný oběh se kterým se nejčastěji setkáme v parních kondenzačních elektrárnách, ale i v jaderných elektrárnách s plynem chlazenými reaktory. Jedná se o uzavřený tepelný oběh, u kterého využíváme změny skupenství pracovního média (H_2O , benzen, chladiwa atd.). V energetice je jeden z nejstarších a nejrozšířenějších tepelných oběhů. V minulých letech se začal používat k přeměně tepelné energie v mechanickou práci pomocí parních strojů, v dnešní době se parní stroj nahradil pouze parními turbínami, tepelný oběh se však nezměnil. [11]

3.1.1 Popis ideálního RC cyklu

Rankin-Clausiův cyklus je uzavřená soustava kde pracovní médium proudí čtyřmi základními součástmi. Teplo získáme dodáním paliva (černé uhlí, koks, dřevo) do kotle, kde dochází k přeměně chemické energie paliva na tepelnou energii. Tepelná energie se pomocí teplosměnných ploch v kotli předá pracovnímu médiu. Následně se médium přemění z kapalného stavu na páru, která je pomocí dopravního potrubí zavedena do turbíny. V turbíně pára expanduje a koná mechanickou práci. Pára po expanzi míří do kondenzátoru, kde předá své zbytkové teplo chladicí kapalině a následně zkondenzuje. Chladicí kapalina je za pomoci oběhového čerpadla tlačena do sprchy uvnitř chladicí věže. V důsledku rozstříku sprchy kapalina zkondenzuje a dopadne do sběrné nádrže odkud je zavedena zpět do kondenzátoru. Kondenzát je pomocí napájecího čerpadla přiveden zpět do kotle. Děj se tímto způsobem neustále opakuje. Na obrázku č. 3.1 je zobrazeno schéma ideálního Rankin-Clausiova cyklu. [12]

V praxi se můžeme setkat s těmito možnostmi zvyšování účinnosti RC cyklu:

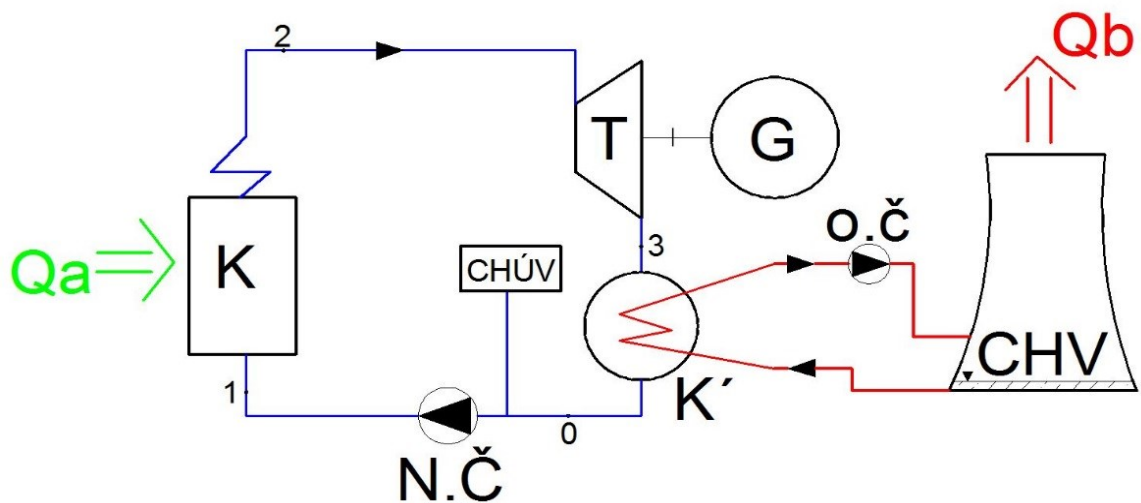
- Snížení tlaku v kondenzátoru
- Zvýšení parametrů vstupní páry
- Regenerační ohřev napájecí vody (Carnotizace regenerací)
- Přihřívání páry; [13]

Účinnost parního oběhu můžeme zvýšit množstvím přivedeného tepla, nebo množstvím odvedeného tepla anebo oběma způsoby současně. Reálné parní turbíny pracují s daleko

složitějšími oběhy, které vznikly úpravou ideálního Rankin – Clausiova oběhu z důvodu zvýšení jeho účinnosti popř. měrnou prací. [13]

Popis schématu RC cyklu v jednotlivých bodech:

- 0-1 Izoentropické stlačení kapaliny v napájecím čerpadle
- 1-2 Získání tepelné energie v kotli, kapalina se přemění v páru
- 2-3 Izoentropická expanze páry na turbíně
- 3-0 Zbytkové teplo páry po expanzi je odvedeno do kondenzátoru



Obrázek č. 3.1: Schéma ideálního RC cyklu s CHÚV [12]

K – kotel	T – turbína	K' - kondenzátor
N.Č – napájecí čerpadlo	G – el. generátor	CHÚV – chemická úprava vody
O.Č – oběhové čerpadlo	CHV – chladicí věž	Q_a – dodané teplo
Q_b – odvedené teplo	Modrá – hlavní okruh	Červená – chladicí okruh

3.1.2 Ts diagram RC cyklu

Na obrázku č.3.2 je uvedený Ts diagram ideálního RC cyklu.

Popis jednotlivých bodů Ts diagramu:

- 1-2 : dochází k dodání tlaku napájecím čerpadlem, voda je ohřívána v kotli až do stavu sytosti (varu)
- 2-3 : izobaricko-izotermická, změna ze stavu syté vody na sytou páru
- 3-4 : pára je izobaricky přehřívána na vyšší teplotu v přehříváku

Parní turbína

Parní turbíny jsou sekundární energetické stroje, které mění entalpii páry na mechanickou energii. Pracovní látka parní turbíny je voda o teplotě pohybující se u starších zařízení obvykle kolem 535 °C u těch novějších až kolem 565 °C. Dle zapojení turbíny v technologickém celku se může jednat o turbíny protitlaké, kondenzační a s odběrem páry. V ideálním Rankin – Clausiově oběhu se jedná o kondenzační turbínu, protože za každou kondenzační turbínou je umístěný kondenzátor. [17]

Kondenzátor

Kondenzátor je zařízení sloužící k odvodu zbytkového tepla do chladicího média. Nejčastěji se setkáme s dvěma typy odvodu tepla, buď nepřímým stykem pomocí teplosměnné plochy, nebo s přímým stykem nazývané také jako směšovací kondenzace. Směšovací kondenzace se používá jen v případě suché kondenzace, tudíž výrazně rozšířeným druhem kondenzace je nepřímým stykem, uváděná také jako povrchová kondenzace.

Kondenzátory s povrchovou kondenzací rozdělujeme podle konstrukčního provedení na dělené a nedělené, podle počtu tahů na vícetahové a jednotahové. V praxi se setkáme zpravidla s deskovými nebo s trubkovými typy kondenzátoru. [15]

Napájecí čerpadlo

Napájecí čerpadlo je vysokotlaké zařízení dopravující vodu do parního generátoru. Jedná se o velice důležité zařízení, jelikož na jeho chodu závisí provoz celého kotelního zařízení. Z důvodu zajištění větších průtoků může být napájecí čerpadlo odstředivé, článkové a horizontální. Pohon je zajištěn elektromotorem, který přenáší krouticí moment přes pružnou zubovou spojku na hřídel čerpadla. Regulace se provádí změnou otáček, musí být však použita regulační hydraulická spojka. Nedílnou součástí každého napájecího čerpadla jsou ucpávky použité k dokonalému utěsnění celého zařízení. [18, 19]

3.2 Parametry potřebné k určení výkonu ventilátorové chladicí věže

V rámci přejímacích zkoušek, musejí být změřeny tyto uvedené veličiny:

1. Teplota horké (t_h) a studené vody (t_s)
2. Hmotnostní průtok horké vody (\dot{m}_h)
3. Příkon ventilátoru (F_p)
4. Vstupní teplota mokrého teploměru (t_w)
5. Rychlost větru (v_w)

V některých případech:

6. Tlak čerpadla (Δp_{io})
7. Tok (\dot{m}_m) a teplota (t_m) doplňované vody

Všechna zařízení používaná k měření výkonu ventilátorové chladicí věže musejí být kalibrována. Před samotným měřením je důležité měřicí přístroje zkontrolovat, jelikož zjištěné odchylky budou použity při vyhodnocení naměřených výsledků. Rozsahy jednotlivých měřicích zařízení musí být nastaveny tak, aby se co nejvíce eliminovaly chyby měření. Čítací zařízení pro měření průtoku vody jsou povoleny jen za podmínky, že jsou doplněny bezprostředními dodatečnými měřeními, za účelem ověření kolísání průtoku vody, které musí zůstat v povolených mezích. [20]

3.3 Měření

3.3.1 Teploty

Při měření teplot musejí být používány kalibrované měřicí zařízení, například tyto:

- kapalinové teploměry,
- termočlánky,
- teploměry odolné proti platině,
- křemenné teploměry,
- termistory; [20]

Důležité je aby ukazatel popřípadě záznamník teploměru měl kalibrovanou stupnici, která má rozsah čitelných hodnot 0,1 K až 0,05 K. Teplotní senzory je podstatné před provedení samotného testu zkontrolovat tak, že se spolu s kalibrovaným teploměrem umístí do kapaliny o stálé teplotě. Teplené senzory mající odchylku větší než 0,1 K musejí být nahrazeny novými senzory. [20]

3.3.1.2 Teplota horké vody

Příjatečným místem pro měření teploty horké vody je jednotný přivaděč do věže nebo její vodní rozvodná soustava. [20]

3.3.1.3 Teplota studené vody

Teplota studené vody musí odrážet hmatatelnou průměrnou teplotu vody vyústující z chladicí věže. Pozornost je potřebné věnovat eliminaci všem možnostem teplotního rozvrstvení v místě prováděného měření. Naměřená teplota studené vody musí být upravena z důvodu působícího tlaku a přiškrcení v případě, pokud provádíme měření v místě výpustě čerpadla. Je-li zkouška vykonávána tak, že se doplňování vody do soustavy uskutečňuje nad místem měření studené vody, musí být naměřená hodnota teploty vody upravena o důsledky doplňování a vypouštění výpočtem tepelné rovnováhy. [20]

3.3.1.4 Teplota mokrého teploměru

Vstupní hodnota teploty mokrého teploměru je měřena prostřednictvím dostatečného počtu vhodně situovaných zařízení s mechanickým nasáváním, aby bylo opatřeno, že naměřené teploty se shodují se skutečnou teplotou mokrého teploměru, která je u vstupu do chladicí věže. Zařízení měřící teplotu mokrého teploměru musejí vyhovovat těmto požadavkům:

- zařízení musí mít stupnici s přírůstky nepřesahující 0,1 K,
- teplotní čidla musejí mít exaktnost $\pm 0,05$ K,
- teplotní čidla musejí být chráněny před zdroji sálavého tepla,
- teplotní čidlo musí být opatřeno knotem, který je vlhčen z nádoby s destilovanou vodou,
- destilovaná voda musí mít teplotu přibližně stejnou jako je teplota mokrého teploměru,
- knot musí být po celou dobu měření udržován čistý a musí dokonale pasovat k teplotnímu čidlu,

rychlost proudu vzduchu okolo teplotního čidla musí být udržovaná na hranici 3 m/s až 6 m/s, [20]

3.3.2 Vodní průtok

Měřený musí být také průtok přiváděné horké vody. Měření průtoku u studené vody je povoleno pouze tehdy, jsou-li místní podmínky nevhodné pro měření v potrubí s horkou vodou. V této situaci je důležité provést výpočet hmotového vyvážení, aby byl naměřený průtok studené vody upraven o změnu specifického objemu při naměřených teplotách. Místo pro měření vodního průtoku je nutné zvolit s ohledem na přívod vody do chladicí věže, aby nedocházelo k přidání a odstraňování vody.

U měření vodního průtoku můžou být použity tyto zařízení:

- průtokoměr se škrticí klapkou,
- turbínový průtokoměr,
- Pilotův nebo Prandtlův průtokoměr,
- elektromagnetický průtokoměr,
- ultrazvukový průtokoměr,
- je-li průtok konstantní, počítadla,

Všechna zmíněná zařízení pro měření vodního průtoku musejí mít základní přesnost $\pm 1,5 \%$ garantovanou výrobcem a testovanou nezávislým kontrolním úřadem. V případě měření na trvale nainstalovaných měřicích zařízeních se zainteresované strany musejí dohodnout na přípustné odchylce, odchylka měření nesmí být však větší než 3 %. [20]

3.3.3 Příkon ventilátoru

Měří se jen elektrická energie, kterou spotřebovávají elektromotory ventilátoru. Přiváděný výkon je stanovený změřením elektrického proudu, elektrického napětí a účinníku nebo změřením přiváděného výkonu. Pokud je potřebné změřit přiváděný výkon motoru ventilátoru v daném místě, které je od motoru vzdáleno, musíme zjistit, k jakým ztrátám na vedení dochází mezi motorem a místem měření.

Při měření mohou být použity hodnoty účinnosti uvedené výrobcem hnacího stroje. Zařízení určená pro měření výkonu musejí projít před započítím měření kalibrací renomovaným a nezávislým ústavem na minimální přesnost $\pm 1,5 \%$. [20]

K měření příkonu ventilátoru se používají tyto zařízení:

- Wattmetr,
- Voltmetr,
- Ampérmetr; [20]

3.3.4 Čerpací tlak chladicí věže

Čerpací tlak (Δp_{io}) je stanovený celkovým rozdílem tlaku mezi přívodem a výpustí ventilátorové chladicí věže.

$$\Delta p_{io} = (p_{si} + p_{di} + p_{ghi}) - (p_{so} + p_{do} + p_{gho}) \quad (1)$$

Kde p_{gho} označuje gravitační tlak, může být nahrazen geometrickým výškovým rozdílem (H) v jednotkách tlaku.

$$\Delta p_{io} = (p_{si} + p_{di} + p_{ghi}) - (p_{so} + p_{do}) + H \quad (2)$$

U většiny případů lze použít zjednodušenou rovnici (3), protože příčné průřezy přívodu a výpusti jsou totožné. [20]

$$\Delta p_{io} = (p_{si} - p_{so}) \quad (3)$$

Kde	Δp_{io}	celkový rozdíl tlaku	[kPa]
	p_{si}	atmosférický tlak ve smluvním vstupu do věže	[kPa]
	p_{di}	dynamický tlak ve smluvním vstupu do věže	[kPa]
	p_{ghi}	gravitační tlak ve smluvním přívodu	[kPa]
	p_{so}	atmosférický tlak ve smluvní výpusti	[kPa]
	p_{do}	dynamický tlak ve smluvní výpusti	[kPa]
	p_{gho}	gravitační tlak ve smluvní výpusti	[kPa]
	H	geometrický výškový rozdíl v jednotkách tlaku	[kPa]

3.4 Přejímací zkoušky

Odběratel a dodavatel se musejí vzájemně dohodnout na patřičném uskutečnění přejímací zkoušky. Pokud by se naskytl nějaký problém s umístěním bodů měření podle pravidel, musejí se obě strany dohodnout. Přejímací zkoušky se provádějí po provozní době za tepelného zatížení, ne později než 12 měsíců od uvedení celého zařízení do provozu. Přejímací zkouška je prováděna výhradně za klimatických podmínek, průtoku a rozpětí blížící se zaručeným podmínkám. Obě smluvní strany mají právo dohlížet nebo se účastnit na přejímací zkoušce. [20]

3.4.1 Příprava přejímacích zkoušek

Aby nedocházelo při přejímací zkoušce k rušení provozními zařízeními, je doporučeno namontovat speciální vybavení nebo ponorná pouzdra. Počet a uspořádání míst měření musí být uskutečněno v souladu s náležitými platnými normami. V Tabulce č. 3. 1 jsou uvedeny doporučené počty a rozmístění měřících míst.

Tabulka č. 3.1: Doporučený počet a rozmístění míst měření [20]

Doporučený počet a rozmístění míst měření			
Č.	Veličina	Minimální počet měření M	Umístění
1	Průtok vody (m)	$M=1$ pro všechna přívodní vedení	dle platné normy
2	Teplota horké vody (t_h)	$M=1$ pro všechna přívodní vedení	v hlavním průtoku přívodního vedení
3	Teplota studené vody (t_c)	$M>2$ pro všechny výpusti	na výstupu z čerpadla nebo na výpusti nádrže
4	Teplota mokrého teploměru t_w	Nejlépe pro jeden přívod vzduchu jedno místo měření $M>2$	maximálně 2 metry od přívodu vzduchu
5	Příkon ventilátoru (F_p)	$M=1$	v rozvodně nebo přímo na motoru
6	Tlak čerpadla (Δp_{io})	$M=1$	mezi přívodem a výpustí věže

Před provedením samotné přejímací zkoušky je důležité zkontrolovat správné fungování chladicí věže. Zejména musí být zaručeno, že:

- žádné funkční zařízení není poškozeno,
- veškeré součásti pracují správně,
- plnicí vak a vylučovače nejsou zaneseny usazeninami, odpadem popř. biologickými látkami,
- rozvod vody je naprosto čistý,
- přívody vody a vzduchu jsou dokonale těsné,
- přívádění a vypouštění vzduchu nic nebrání,
- jakost studené vody je dodržena dle objednávky, zejména že neobsahuje maziva a oleje,

U chladicích věží s více buňkami musí být průtoky vody vyváženy. [20]

3.5 Vykonání přejímací zkoušky

Před zahájením přejímací zkoušky je důležité splnit tyto podmínky:

- stav zařízení musí být vyhovující,
- všechny dokumenty potřebné k přejímací zkoušce musejí být připravené,
- všechny důležité zařízení v chladicí smyčce použité k měření musejí být přístupná,
- v případě slunečního záření dopadajícího na teploměry musejí být použity sluneční clony,

Lidé, kteří jsou pověřeni k vykonání přejímací zkoušky, musejí mít možnost před zahájením samotné přejímací zkoušky uskutečnit zkušební test. [20]

3.5.1 Přípustné odchylky za provozních podmínek

Pokud v průběhu přejímací zkoušky není možné zaručit podmínky zaručených veličin (Z_G , t_{wG} , F_{PG} , m_G), odchylky nemohou překročit hodnoty uvedené v Tabulce č. 3. 2. Jednotlivé zkoušky přejímací zkoušky musejí být seřazeny tak, aby odečet jednotlivých platných hodnot mohl probíhat v pořadí. [20]

Tabulka č. 3. 2: Přípustné odchylky zaručených hodnot u přejímacích zkoušek [20]

Přípustné odchylky zaručených hodnot u přejímacích zkoušek	
Veličina	Maximální odchylka od zaručených hodnot
Vstupní teplota mokrého teploměru; t_w	$\pm 1^\circ\text{C}$
Rozpětí; z	$\pm 20 \%$
Průtok vody; m	$\pm 10 \%$
Tepelné zatížení	$\pm 20 \%$
Příkon ventilátoru	$\pm 5 \%$
<ul style="list-style-type: none"> - s nastavitelnými lopatkami, - s řízením rychlosti - bez řízení 	$\pm 20 \%$

3.5.2 Rychlost větru

V průběhu přijímací zkoušky nesmí hodnota rychlosti větru přesáhnout hranici 3,5 m/s. O průběžném měření rychlosti může být rozhodnuto, pokud se rychlost větru blíží této hodnotě. V případě, že opravdu nastane tato možnost, prudké nárazy větru nemůžou přesáhnout 7 m.s^{-1} během jedné hodiny 10krát nebo po dobu delší než je jedna minuta. Měření rychlosti větru je nezbytné provádět ve výšce 1 až 1,5 m nad hranou obrubně nádrže a všude tam, kde je to potřebné, zejména na nepokrytém návětrném místě zařízení. K měření větru se používá otáčivý miskový nebo lopatkový anemometr, směr větru lze určit prostřednictvím lopatkového aparátu. Příklad miskového anemometru je zobrazen na obrázku č. 3. 3. [20]



Obrázek č. 3.3: Miskový anemometr [21]

3.5.3 Provozní předpoklady během zkoušky

Zkoušku nelze vykonat za mlhy nebo deště. Během konání zkoušky je nezbytné udržovat provozní podmínky stejné. Vstupní teplota mokrého teploměru může oscilovat, ale je důležité, aby se za hodinu teplota nezměnila o více než 1 K. [20]

Po dobu měření je nezbytné, že se podmínky zkoušky nezmění o více než:

- u průtoku vody $\pm 5 \%$,
- u tepelného zatížení $\pm 5 \%$,
- u rozpětí chladicí věže $\pm 5 \%$,

Tyto podmínky na sebe interakčně závisí, jednotlivě nemohou být limity přesáhnuty.[20]

3.5.4 Frekvence odečítání

Měření se uskutečňuje v pravidelných intervalech a všechny odečty musejí být zaznamenávány. V případě stálých podmínek je možnost zvolit delší intervaly odečítání. V Tabulce č. 3. 3 jsou uvedeny doporučené četnosti odčítání u přejímací zkoušky. [20]

Tabulka č. 3. 3: Doporučená četnost odečítání hodnot u přejímací zkoušky [20]

Doporučená četnost odečítání hodnot u přejímací zkoušky			
Místo měření	Doporučená četnost odečítání během každé hodiny na daném místě	Jednotka	Minimální hodnota záznamu
Teplota mokrého teploměru	12	°C	0,05
Teplota horké vody	12	°C	0,05
Teplota studené vody	12	°C	0,05
Průtok vody (viz I))	3 (viz I))	(viz II))	
Tlak čerpadla	1	kPa	2
Příkon ventilátoru	1	(viz II))	
Rychlost větru	6	m/s	1
Pokud je to možné:			
Teplota doplňované vody	2	°C	0,05
Průtok doplňované vody	2 (viz I))	(viz II))	
Teplota vypouštěné vody	2	°C	0,05
Průtok vypouštěné vody	2 (viz I))	(viz II))	

I) Je-li doba měření průtoku vody nadstandartní, například při užití Prandlova či Pitotova průtokoměru, nemusí být možné docílení doporučených četností uvedených v Tabulce

č. 3.3. Pokud nastane tento případ je dovolené jedno měření průtoku za podmínky, že jsou realizována opakovaná měření na daném místě (například uprostřed vodovodního vedení), která zaručí zaznamenání změny v hodnotách průtoku vody, tak aby nedošlo k překročení přípustných podmínek popsanych v části 3.5.3.

II) Jednotky, které budou během měření použity, závisí na metodách a druhu měření. Záznamy odečtu měření musejí být v souladu s přesností měřicích přístrojů. [20]

3.5.5 Délka trvání přejímací zkoušky

Délku trvání přejímací zkoušky je důležité zvolit tak, aby mohlo být získáno dostačujícího počtu, minimálně však deseti platných odečtu hodnot a to z důvodu kolísajících teplot vzduchu a rozptylu provozních parametrů. Ideální časový interval by měl být v rozmezí minimálně 1 h až maximálně 8 h. U standardizovaných ventilátorových chladicích věží je relativně nízký interval teplotního zpoždění, proto se s ním většinou neuvažuje. Pokud je však časový interval určený dle rovnice (4) větší než dvě minuty, je důležité a nezbytně nutné délku přejímací zkoušky prodloužit tomu úměrným způsobem. Aby skutečnému výkonu ventilátorové chladicí věže odpovídaly dosažené odečtené hodnoty, musejí být založeny na vyrovnávacích časových rozpětích. [20]

$$S_t = \frac{V_s}{60 \cdot (\dot{m}_h + \dot{m}_b)} \quad (4)$$

Kde	S_t	interval teplotního rozpětí	[min]
	V_s	průměrný objem vody v nádrži pro studenou vodu	[l]
	\dot{m}_h	průtok horké vody	[l·s ⁻¹]
	\dot{m}_b	průtok vypuštěné vody	[l·s ⁻¹]

3.5.6 Platnost naměřených výsledku přejímací zkoušky

Proměnlivost zatížení, objevující se nepříznivé počasí během přejímací zkoušky, selhání měřicích zařízení nebo další neočekávané události si mohou vyžádat odstranění daných naměřených hodnot ze souboru dat zkoušky. Jestliže se naměřené hodnoty nacházejí mimo limity uvedené v částech 3.5.1 až 3.5.3 musí přejímací zkouška pokračovat, dokud se během jedné hodiny nezískají souvislé data. [20]

3.6 Vyhodnocení odečtených hodnot a určení výsledku přejímací zkoušky

Když dojde k ukončení všech měření, účastníci zkoušky tj. lidé pověřeni k vykonávání zkoušky, vlastník a dodavatel ventilátorové chladicí věže se musejí dohodnout, jaké části odečtených hodnot budou použity při celkovém zhodnocení přejímací zkoušky. Je podstatné použít k celkovému vyhodnocení všechna naměřená data, i když špatně odečtené hodnoty z důvodu chybného užití měřicích přístrojů a jiných nežádoucích vlivů je možné z vyhodnocení vyloučit. Nesmí se však opomíjet, že všechna naměřená data musejí být v souladu s uvedenými pravidly v kapitole 3. 5. [20]

3.6.1 Zjištění nominální hodnoty z výkonových dat

Teploty vody ve výpusti jsou nominální hodnoty studené vody, které se odvozují z výkonových křivek určené pro zkušební model. Zkušební model zahrnuje rozpětí, vstupní teplotu mokrého teploměru, elektrickou energii spotřebovanou ventilátorem a průtok vody chladicí věží. [20]

3.6.2 Porovnání odečtených hodnot se zaručenými výkonovými daty [20]

Nominální hodnota studené vody t_{cfk} se zjistí na základě naměřených hodnot z výkonových křivek. Rovnicí (5) je určený vztah mezi naměřenou teplotou studené vody t_{ck} a nominální hodnotou t_{cfk} .

$$\Delta t_k = t_{ck} - t_{cfk} \quad (5)$$

Kde	Δt_k	rozdíl mezi t_{ck} a t_{cfk} v místě k	[K]
	t_{ck}	teplota studené vody v místě k	[°C]
	t_{cfk}	teplota studené vody zjištěná z výkonových křivek	[°C]

Podle rovnice (6) lze určit aritmetický průměr pro všechny časové intervaly měření.

$$\Delta t_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n \Delta t_k \quad (6)$$

Kde	Δt_a	aritmetický průměr všech Δt_k	[K]
	n	celkový počet hodnot Δt_k	[-]
	Δt_k	rozdíl mezi t_{ck} a t_{cfk} v místě k	[K]

Pokud platí podmínka $\Delta t_a < 0$ je dosaženo zaručeného stavu. V případě zohlednění chyb při měření je zaručený stav dosažen vyjádřený rovnicí (7).

$$0 < \Delta t_a \leq \delta t_t = \delta t_m + \delta t_b \quad [-] \quad (7)$$

Kde	Δt_a	aritmetický průměr všech Δt_k	[K]
	δt_t	přípustná odchylka zkoušky	[K]
	δt_m	chyba výsledku měření	[K]
	δt_b	základní odchylka	[K]

Odchylka δt_t je stanovena součtem chyb výsledků δt_m a základní odchylky δt_b . Základní odchylka zahrnuje výrobní odchylky vznikající při sériově výrobě ventilátorových chladič věží. Jelikož odchylky vznikající při výrobě mají obvykle větší vliv na menší teplotní rozdíly, jsou formulovány jako základní odchylka. Základní odchylka je stanovena podmínkou $\delta t_b = 0.2$

3.7 Dovolené odchylky zkoušky

Při měření výkonu ventilátorové chladič věže je nutné brát v úvahu přípustné odchylky teplot, které se projevují při srovnání zaručené teploty studené vody s naměřenou teplotou studené vody. Teplota studené vody závisí na teplotě mokrého teploměru, příkonu ventilátoru a průtoku vody, proto je nutné zvážit odchylky objevující se u těchto jednotlivých měření. K zjištění vztahu mezi veličinami a teplotou studené vody nám slouží výkonové křivky. Z důvodu systematických nezměřených odchylek a krátkodobých kolísání veličin může dojít během zkoušky k chybám. [20]

3.7.1 Chyby v důsledku působících odchylek měření

Výrazný vliv na určení teploty studené vody mají chyby vznikající při měření jednotlivých parametrů.

Při měření výkonu ventilátorové chladič věže nám vznikají tyto vlivy nejistoty měření:

- vliv nejistot měření mokrého teploměru ΦW ,
- vliv nejistot měření chladičho rozpětí ΦZ ,
- vliv nejistot měření příkonu ventilátoru ΦF ,
- vliv nejistot měření průtokové rychlosti vody Φm ;[20]

3.7.2 Stanovení přípustných odchylek měřicích zařízení

Dovolené odchylky různých měřicích zařízení jsou uvedeny v kapitole 3. 3. Před provedením přejímací zkoušky musejí být smluvními partnery určeny hodnoty, které budou ve skutečnosti použity. Hodnoty nesmějí přesáhnout údaje uvedené v Tabulce č. 3. 4.

abulka č. 3. 4: Přípustné odchylky měřicích zařízení během přejímací zkoušky [20]

Přípustné odchylky měřicích zařízení během přejímací zkoušky	
Veličina	Maximální odchylka měřicího zařízení
Teplota vody, ε_c	0,1 K
Teplota mokrého teploměru, ε_w	0,1 K
Příkon ventilátoru, ε_{Fp}	3%
Průtoková rychlost vody, ε_m	3%

Systematické odchylky ε_x pro jednotlivá měřicí zařízení se mohou určit z provozních pokynů měřicích zařízení nebo podle Tabulky č. 3. 4. K faktorům vlivu Φ_x se doplňují zmíněné systematické odchylky ε_x , které umožňují výpočet chyby zapříčiněné nezměřitelnými systematickými odchylkami provozních parametrů. [20]

3.7.3 Stanovení přípustných odchylek měření [20]

Pomocí rovnice (8) se vypočítá chyba δt_s zapříčiněná systematickými nezměřitelnými vlivy.

$$\delta t_s = \sqrt{(\Phi_w \cdot \varepsilon_{t_w})^2 + (2 \cdot \Phi_Z \cdot \varepsilon_{t_c})^2 + (\Phi_m \cdot \varepsilon_m)^2 + (\Phi_F \cdot \varepsilon_{Fp})^2 + (\varepsilon_{t_c})^2} \quad (8)$$

Kde δt_s chyba v důsledku systematických nezměřitelných vlivů [K]

Φ_w vliv mokrého teploměru [K·°C⁻¹]

Φ_Z rozsah vlivu [K·°C⁻¹]

Φ_m vliv vodního proudu [K·%⁻¹]

Φ_F vliv příkonu ventilátoru [K·%⁻¹]

ε_{t_w} přípustná odchylka teploty mokrého teploměru [K]

ε_{t_c} přípustná odchylka vody [K]

ε_m přípustná odchylka průtokové rychlosti vody [%]

ε_{Fp} přípustná odchylka příkonu ventilátoru [%]

Přímo ve výsledku je přirozeně zahrnutá přípustná odchylka studené vody.

3.7.4 Určení náhodných chyb při měření [20]

Neočekávané a náhodné události jsou důsledkem rozdílu mezi změřenou a zaručenou teplotou studené vody. Tyto teploty kolísají okolo průměrné hodnoty Δt vypočtené ze všech intervalů měření přejímací zkoušky. Vznikající kolísání těchto teplot zohledňuje standartní empirická odchylka uvedena v rovnici (9).

$$S_{\Delta tk} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{k=1}^k (\Delta t_a - \Delta t_k)^2} \quad (9)$$

Kde	$S_{\Delta tk}$	standartní empirická odchylka	[K]
	k	celkový počet časových intervalů	[-]
	Δt_a	aritmetický průměr všech Δt_k	[K]
	Δt_k	rozíl mezi t_{ck} a t_{cfk} v místě k	[K]

Uvedená přípustná odchylka měření δt_r v rovnici (10) vznikající náhodnou odchylkou změřených výsledků a dočasnými změnami zaručených veličin s hladinou spolehlivosti pro pravděpodobnost 95 %. Hodnoty veličiny $S_t(k)$ jsou k dispozici v ČSN EN 13741.

$$\delta t_r = \frac{S_t(k)}{\sqrt{k}} \cdot S_{\Delta tk} \quad (10)$$

Kde	δt_r	chyba v důsledku náhodných odchylek	[K]
	$S_{\Delta tk}$	standartní empirická odchylka	[K]
	$S_t(k)$	hodnota rozdělení S , podle výzkumníka	[-]
	k	celkový počet časových intervalů	[-]

3.7.5 Stanovení přípustné odchylky [20]

Chyba výsledku měření δt_m je rovna součtu přípustných odchylek způsobených náhodnými δt_r a systematickými δt_s odchylkami. Přípustná odchylka může být spočítaná podle rovnice (11).

$$\delta t_m = \sqrt{\delta t_r^2 + \delta t_s^2} \quad (11)$$

Kde	δ_{tm}	chyba výsledku měření	[K]
	δ_{tr}	chyba v důsledku náhodných odchylek	[K]
	δ_{ts}	chyba v důsledku systematických nezměřitelných vlivů	[K]

Připočtením chyby ve výsledku δ_{tm} měření k základní odchylce δ_{tb} vznikne přípustná odchylka zkoušky. Výpočet přípustné odchylky je uveden rovnicí (12).

$$\delta t_t = \delta t_m + \delta t_b \quad (12)$$

Kde	δt_t	přípustná odchylka zkoušky	[K]
	δt_m	chyba výsledku měření	[K]
	δt_b	základní odchylka	[K]

Výsledkem přijímací zkoušky je porovnání Δt_a s δt_t , je-li splněna podmínka $\Delta t_a \leq \delta t_t$ tak ventilátorová chladicí věž funguje podle předpokladů.

4. Ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže

Ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže bylo uskutečněno na jednoventilátorové chladicí věži Marley Fiberlass. Základní parametry věže jsou uvedeny v Tabulce č. 4.1.

Tabulka č. 4. 1: Základní parametry chladicí věže Marley Fiberlass

Základní parametry chladicí věže Marley Fiberlass		
Parametr	Veličina	Hodnota/Jednotka
Hydraulické zatížení věže	M_{w1}	$480 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Teplota vlhkého teploměru	t_w	$21,5 \text{ }^\circ\text{C}$
Chladicí pásmo	ΔTSK	$8 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota oteplené vody	t_h	$35 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota ochlazené vody	t_c	$27 \text{ }^\circ\text{C}$
Barometrický tlak okolního vzduchu	p_b	$98 \div 99 \text{ kPa}$
Příkon ventilátoru	F_p	30 kW

4.1 Měřené parametry potřebné pro stanovení chladicího výkonu

Měření veličin potřebných pro vyhodnocení přijímací zkoušky probíhalo jednu hodinu a deset minut. Zaznamenávání naměřených hodnot bylo prováděno v časovém intervalu deseti vteřin. Z deseti vteřinových intervalů byly vytvořeny pětiminutové průměry naměřených hodnot. Tyto průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce č. 4. 2. Z tabulky lze vyčíst, že průměrná hodnota vstupní teploty do chladicí věže se pohybovala kolem teploty $28,106 \text{ }^\circ\text{C}$, výstupní průměrná teplota byla za celou dobu měření $20,804 \text{ }^\circ\text{C}$ a to vše při průměrné teplotě okolí $20,983 \text{ }^\circ\text{C}$ a průměrném barometrickém tlaku $98,52 \text{ kPa}$. Ostatní naměřené průměrné hodnoty jednotlivých veličin jsou popsány v kapitole č. 4. 2.

Tabulka č. 4. 2: Průměrné naměřené hodnoty z pětiminutových intervalů

Průměrné naměřené hodnoty z pětiminutových intervalů										
k	Rel. Vlhkost [%]	Bar. Tlak [kPa]	Průtok [m ³ .hod ⁻¹]	Vítr [m.s ⁻¹]	Teploty [°C]					Výkon [kW]
					Suchý tepl.	Mokrý tepl.	Okolí	Teplá voda	Studená voda	
1	42,390	98,525	446,000	3,172	22,070	14,303	21,060	27,476	21,026	35,545
2	42,880	98,535	444,930	3,226	22,290	14,487	20,760	27,642	20,433	35,218
3	43,580	98,529	444,722	3,755	21,990	14,362	21,060	27,685	20,780	35,506
4	42,170	98,513	445,915	3,267	22,180	14,285	20,970	27,802	20,759	35,250
5	42,580	98,519	433,223	3,300	22,480	14,590	20,760	27,896	20,655	35,192
6	40,780	98,505	436,601	2,273	22,880	14,608	20,750	27,957	20,825	35,195
7	40,930	98,508	442,671	2,966	23,080	14,788	20,780	28,177	20,701	35,038
8	42,730	98,532	442,948	4,446	22,490	14,619	21,240	28,288	20,838	35,294
9	42,940	98,516	444,097	3,497	22,020	14,284	21,510	28,285	21,313	35,497
10	41,240	98,521	440,555	3,241	22,410	14,321	20,890	28,360	20,794	35,138
11	41,640	98,527	434,862	4,100	22,510	14,461	20,920	28,473	20,750	35,161
12	41,170	98,523	428,064	3,682	22,370	14,275	20,850	28,448	20,735	35,080
13	41,950	98,535	438,671	4,175	22,460	14,485	21,190	28,483	20,776	35,126
14	41,460	98,535	439,497	3,489	22,530	14,446	21,020	28,505	20,871	35,234
Ø	42,030	98,523	440,197	3,471	22,410	14,451	20,980	28,106	20,804	35,248

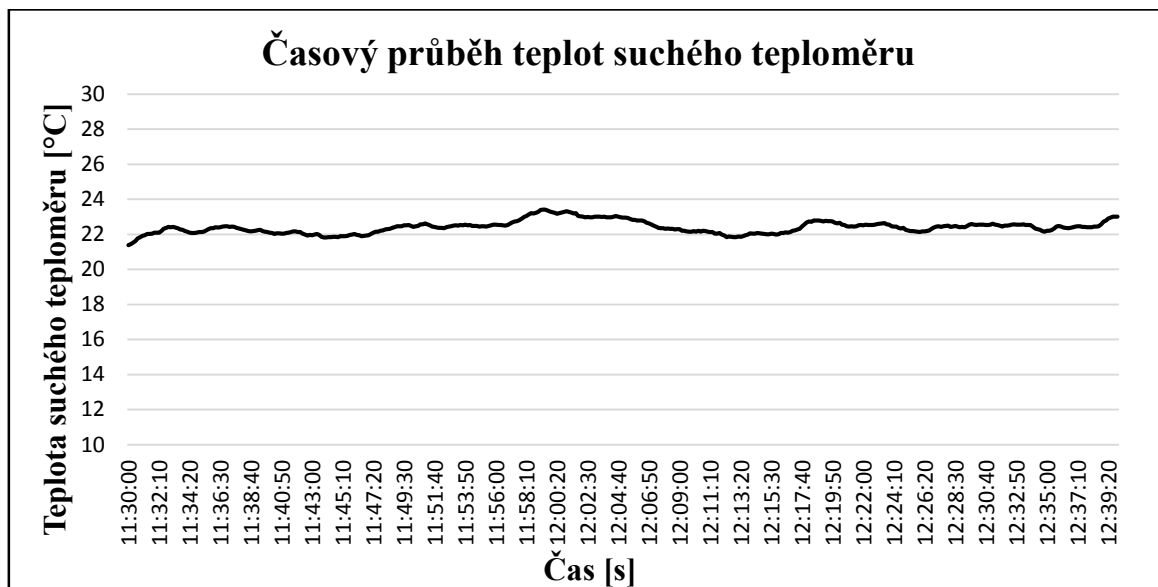
4.2 Časové průběhy měřených veličin

Přejímací zkouška byla prováděná v nejmenším možném intervalu, jaký stanovuje norma o přejímacích zkouškách tj. minimálně jedna hodina. Na základě naměřených hodnot příkonu ventilátoru, průtoku vody chladicí věží, relativní vlhkosti a teplot suchého a mokrého teploměru byly vytvořeny časové průběhy. Z jednotlivých grafických průběhů je patrné, že při měření nedošlo k většímu výkyvu měřených hodnot. Tento fakt byl docílen

pravděpodobně stálými povětrnostními podmínkami, správnou činností ventilátorové chladicí věže a všech měřících zařízení a příslušenství.

4.2.1 Časový průběh teploty suchého teploměru

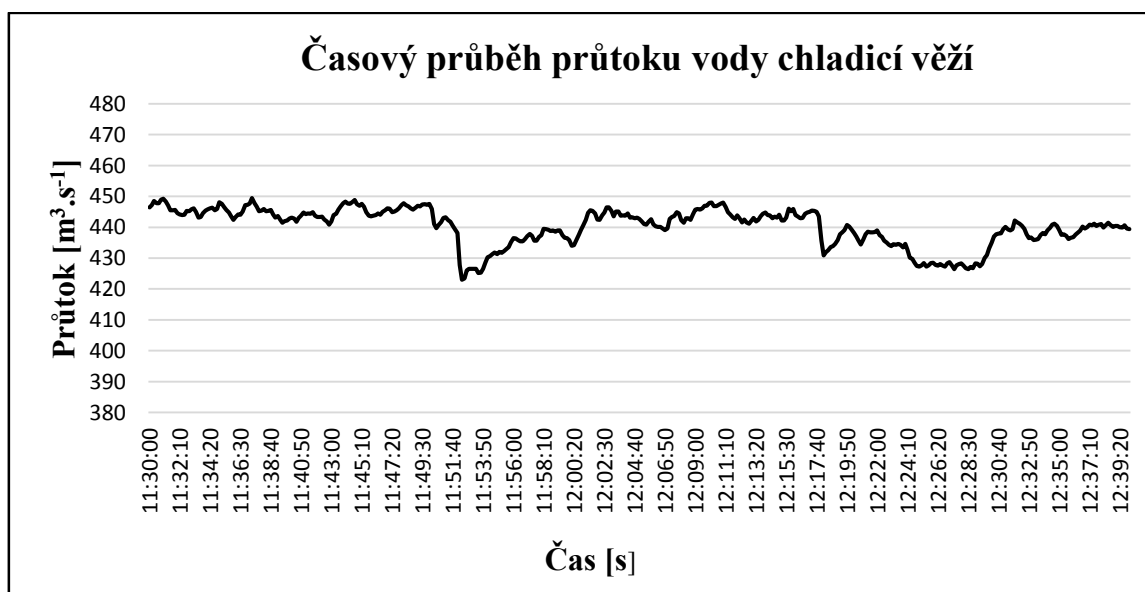
Z Grafu č. 4.1 je patrný rozsah teplot suchého teploměru. Průměrná teplota suchého teploměru byla za celou dobu měření 22,4 °C.



Graf č. 4.1: Časový průběh teplot suchého teploměru

4.2.2 Časový průběh průtoku vody chladicí věží

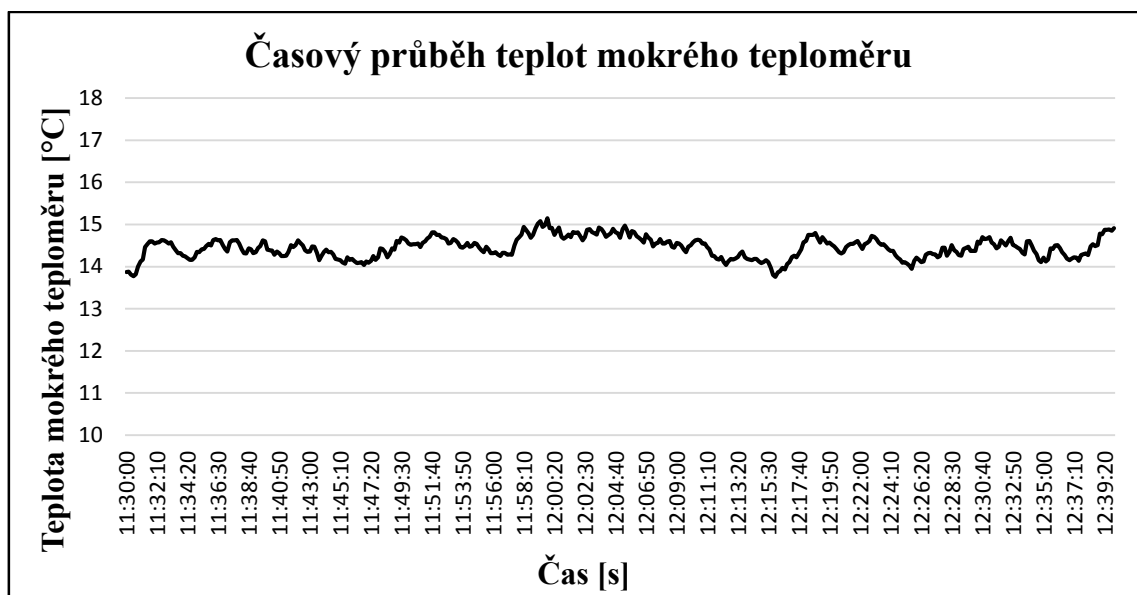
U časového průběhu průtoku vody chladicí věží, který je uveden na Grafu č. 4. 2, je zřejmé, že průměrná hodnota průtoku během přijímací zkoušky se pohybovala kolem hodnoty 440,2 l.s⁻¹.



Graf č. 4.2: Časový průběh průtoku vody chladicí věže

4.2.3 Časový průběh teplot mokrého teploměru

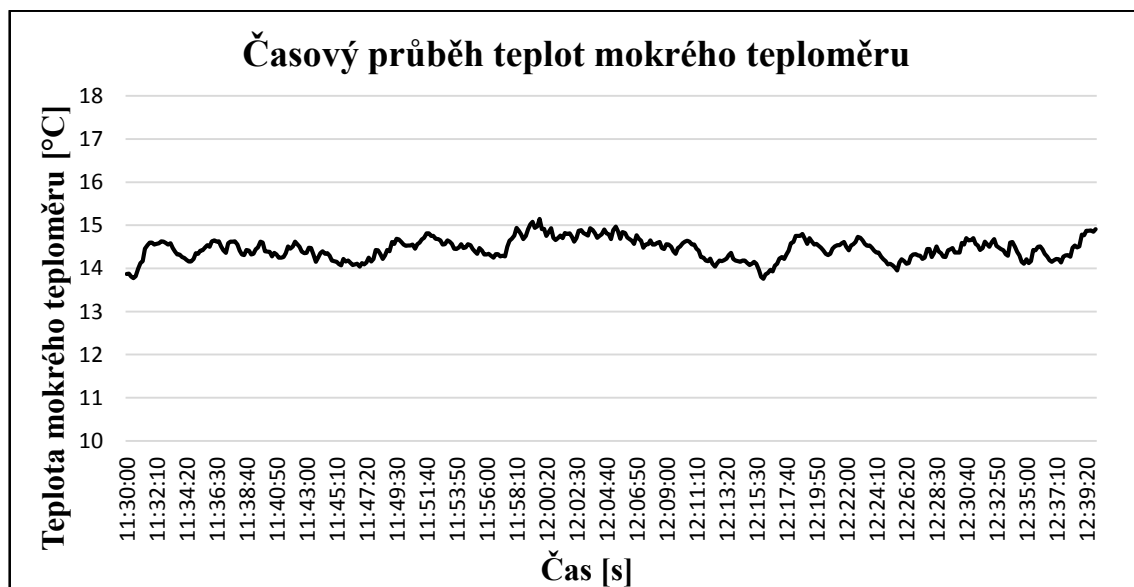
Na Grafu č. 4. 3. lze vidět časový průběh teploty mokrého teploměru. Průměrná teplota mokrého teploměru byla za celou dobu měření 14,5 °C.



Graf č. 4.3: Časový průběh teplot mokrého teploměru

4.2.4 Časový průběh příkonu ventilátoru

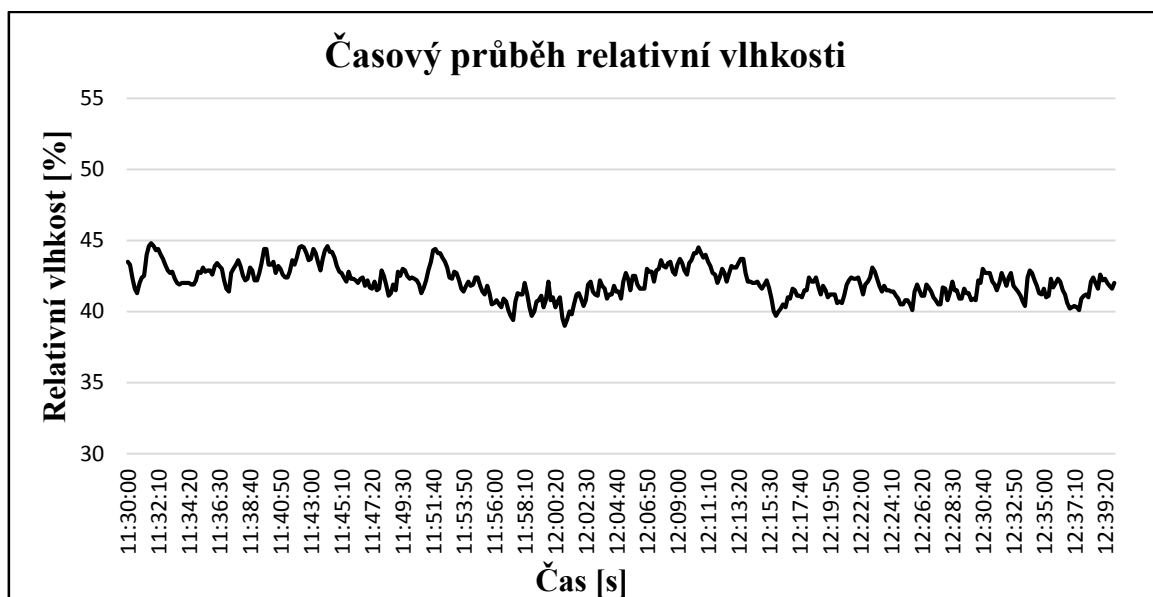
Průměrný naměřený příkon během měření byl 35,2 kW. Časový průběh příkonu ventilátoru je zobrazený na Grafu č. 4. 4.



Graf č. 4.4: Časový průběh příkonu ventilátoru

4.2.5 Časový průběh relativní vlhkosti

V průběhu přijímací zkoušky byla průměrná relativní vlhkost 42,1 %. Na grafu č. 4.5 je znatelný časový průběh relativní vlhkosti.

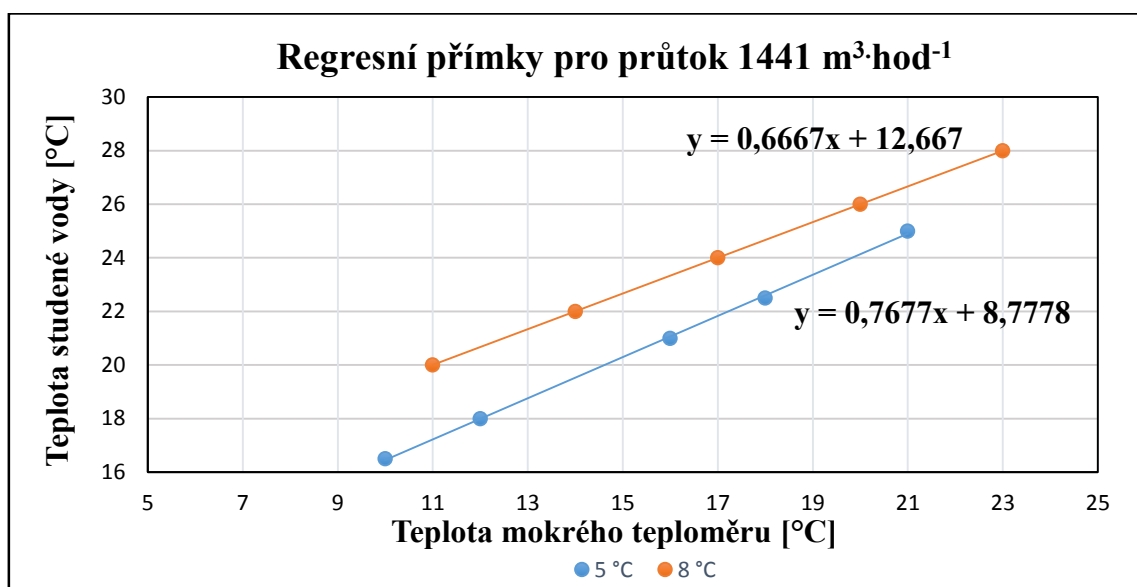
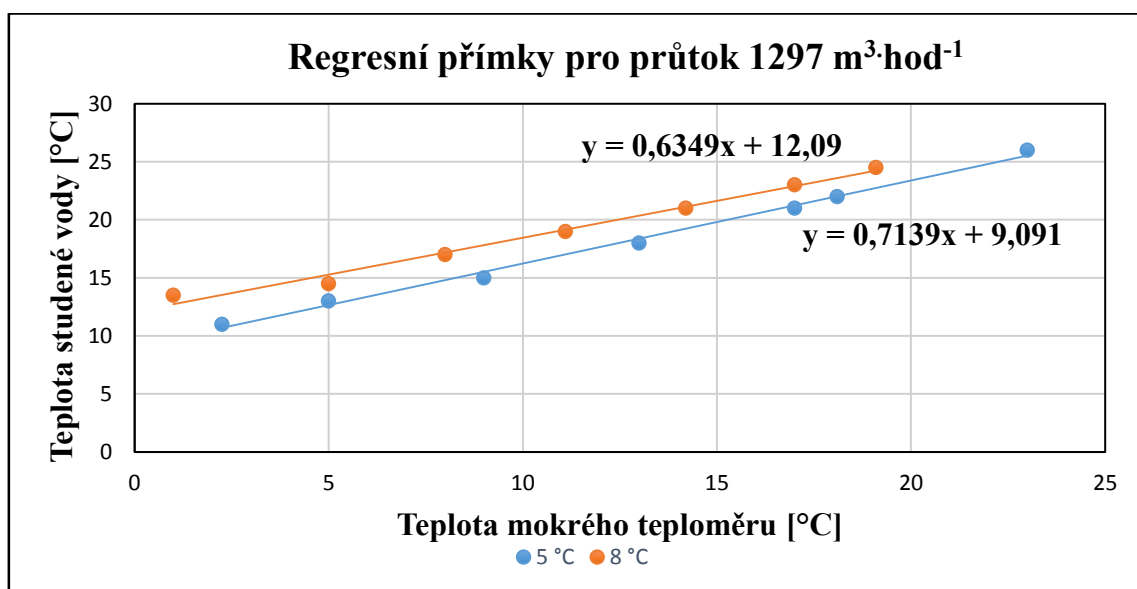


Graf č. 4.5: Časový průběh relativní vlhkosti

4.3 Stanovení garantovaných hodnot studené vody z výkonových křivek

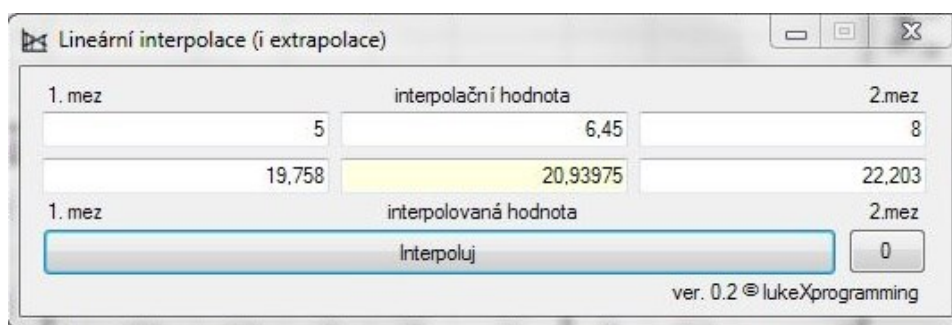
4.3.1 Regresní přímky

K určení garantované hodnoty teploty studené vody slouží výkonové křivky, které spolu se zařízením dodává výrobce ventilátorové chladicí věže. Z výkonových křivek pro průtoky $1441 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ a $1297 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ byly určeny hodnoty na přímkách pro teplotní rozpětí 5 a 8°C . Určené hodnoty byly převedeny do softwaru Microsoft Excel, ze kterých byly vytvořeny regresní přímky s rovnicí pro výpočet studené vody na základě vstupní teploty mokrého teploměru. Regresní přímky pro oba průtoky jsou zobrazeny na Grafech č. 4.6 a 4.7. Originální výkonové křivky jsou k dispozici v Příloze A.

Graf č. 4.6: Regresní přímky pro průtok 1441 m³·hod⁻¹Graf č. 4.7: Regresní přímky pro průtok 1297 m³·hod⁻¹

4.3.2 Interpolace dat

Pro výpočet teploty studené vody pro konkrétní teplotní rozpětí a vždy pro daný průtok byl použit software Lineární interpolace. U interpolace průtoku musely být průtoky 1441 m³·hod⁻¹ a 1297 m³·hod⁻¹ poděleny třemi, jelikož se jedná o průtoky pro tři buňky. Na obrázku č. 4.1 je zobrazen příklad výpočtu v softwaru Lineární interpolace pro první krok výpočtu studené vody mezi přímkami 5 °C a 8 °C pro průtok 1441 m³·hod⁻¹. Všechny výsledky interpolací jsou uvedeny v Příloze B.



Obrázek č. 4.1: Interpolace dat pro teplotní rozpětí 6,45 °C

4.4 Výpočet přípustných odchylek zkoušky

Výpočet přípustných odchylek přejímacích zkoušek byl proveden podle kapitol 3.6 a 3.7 popsaných v této práci. V Tabulce č. 4.3 a č. 4.4 jsou uvedeny vlivy nejistoty měření a odchylky měřících přístrojů, které byly stanoveny měřícím personálem. Vlivy nejistoty měření a odchylky měřících přístrojů, byly použity při výpočtu chyby způsobené systematickými nezměřitelnými vlivy, výpočet byl provedený dle rovnice (9). Během výpočtu nebylo uvažováno s vlivem nejistoty měření příkonu ventilátoru Φ_F . Hodnota veličiny $S_t(k)=2,160 [-]$ byla pro $k=14$ převzata z ČSN EN 13741. Příloha C obsahuje všechny vypočtené přípustné odchylky zkoušky.

Tabulka č. 4. 3: Chyby v důsledku odchylky měření

Chyby v důsledku odchylky měření		
Název	Veličina	Hodnota/Jednotka
Vliv nejistot měření teploty mokrého teploměru	Φ_W	0,7555 K·°C ⁻¹
Vliv nejistot měření chladicího rozpětí	Φ_Z	0,8 K·°C ⁻¹
Vliv nejistot měření průtokové rychlosti vody	Φ_m	0,09 K·1% ⁻¹

Tabulka č. 4. 4: Odchyly použítých měřicích přístrojů

Odchyly použitých měřicích přístrojů		
Název	Veličina	Hodnota/Jednotka
Teplota mokrého teploměru	ε_{tw}	0,1 K
Teplota vody	ε_{tc}	0,1 K
Průtokový rychlost vody	ε_m	2 %

a.) Rozdíl mezi změřenou teplotou studené vody a nominální hodnotou

- Hodnota určená pro první krok, ostatní rozdíly hodnoty Δt_k , jsou uvedeny v Příloze C
- Výpočet je provedený podle rovnice (5)

$$\Delta t_{k1} = 21,026 - 20,414$$

$$\Delta t_{k1} = \mathbf{0,612 [K]}$$

b.) Aritmetický průměr všech Δt_k

- Při výpočtu byla použita rovnice (6)

$$\begin{aligned} \Delta t_a = \frac{1}{14} \cdot (0,612 + (-0,599) + 0,039 + 0,137 + (-0,248) + (-0,084) \\ + (-0,662) + (-0,403) + 0,591 + (-0,281) + (-0,392) \\ + (-0,152) + (-0,460) + (-0,308)) \end{aligned}$$

$$\Delta t_a = \mathbf{-0,158 [K]}$$

c.) Empirická standartní odchylka

- Empirická standartní odchylka byla vypočtena dle rovnice (9)
- Do vzorce dosazen jen první krok, z důvodu rozsáhlosti zápisu

$$S_{\Delta tk} = \sqrt{\frac{1}{14-1} \cdot \sum_{k=1}^k (-0,158 - 0,612)^2}$$

$$S_{\Delta tk} = \mathbf{0,391 [K]}$$

d.) Chyba v důsledku náhodných odchylek

- Výpočet chyby důsledku náhodných odchylek je provedený podle rovnice (10)

$$\delta t_r = \frac{0,391}{\sqrt{14}} \cdot 2,160$$

$$\delta t_r = 0,226 \text{ [K]}$$

e.) Přípustná odchylka měření

- Výpočet je provedený podle rovnice (8)

$$\delta t_s = \sqrt{(0,7555 \cdot 0,1)^2 + (0,8 \cdot 0,1 \cdot 2)^2 + (0,09 \cdot 2)^2 + (0,1)^2}$$

$$\delta t_s = 0,271 \text{ [K]}$$

f.) Chyba výsledku měření

- Výpočet chyby v důsledku měření byl provedený dle rovnice (11)

$$\delta t_m = \sqrt{0,226^2 + 0,271^2}$$

$$\delta t_m = 0,353 \text{ [K]}$$

g.) Přípustná odchylka zkoušky

- Přípustná odchylka zkoušky byla vypočtena podle rovnice (12)

$$\delta t_t = 0,353 + 0,2$$

$$\delta t_t = 0,553 \text{ [K]}$$

h.) Porovnání aritmetický průměr všech Δt_k s přípustnou odchylkou zkoušky

$$\Delta t_a \leq \delta t_t$$

$$-0,158 \text{ [K]} < 0,553 \text{ [K]}$$

Chladicí věž funguje podle předpokladů.

Výsledkem zkoušky je protokol přijímací zkoušky, který je k dispozici v Příloze D.

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat problematiku chladicích věží s přirozeným tahem, ventilátorových chladicích věží a mikrochladičů. Dále pak zpracovat provedení měření a následně ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže dle ČSN EN 13741 o Přejímací zkoušce tepelného výkonu mokrých chladicích zařízení s umělým tahem.

V úvodu práce jsem se zabýval popisem základních funkčních komponentů a prvků chladicí věže s přirozeným tahem, zejména konstrukčním řešením tahových komínů od těch nejstarších až po ty nejnovější. Nedílnou součástí této části práce je vedení vzduchu chladicí věží s přirozeným tahem. Posléze byly zpracovány ventilátorové chladicí věže. Tyto zařízení mají velkou část totožných prvků s chladicími věžemi s přirozeným tahem, s výjimkou vedení vzduchu. U ventilátorových chladicích věží s nuceným tahem dochází k vyvození umělého tahu tlačnými nebo sacími ventilátory. Na závěr úvodní kapitoly jsem se věnoval mikrochladičům. Mikrochladiče jsou o poznání menší zařízení než ventilátorové chladicí věže, funkce je však obdobná. Pro názornou ukázkou a popis funkce mikrochladičů byly vybrány mikrochladiče SAV 10 a SAV 32 od výrobce Chladicí věže Praha a.s.

V další kapitole byla zpracována metodika měření a ověření chladicího výkonu ventilátorové chladicí věže podle přejímacích zkoušek určených ČSN EN 13741. Zmíněny byly podmínky provedení přejímací zkoušky, měřicí přístroje ke zkoušce potřebné a metodický postup výpočtu přípustných odchylek přejímací zkoušky.

Poslední částí této bakalářské práce je zpracování přejímací zkoušky podle naměřených pětiminutových intervalů měření. Měření bylo provedeno na jednoventilátorové chladicí věži Marley Fiberlass. Na základě výkonových křivek dodaných výrobcem byly pomocí lineárních interpolací zjištěny hodnoty pro dané teplotní rozpětí a průtok. Výsledkem lineárních interpolací bylo zjištění garantované teploty studené vody vycházející z ventilátorové chladicí věže. Garantovaná teplota studené vody byla posléze použita pro výpočet přípustných odchylek měření.

Závěrem mohu říci, že ventilátorová chladicí věž Marley Fiberlass může být nadále provozována, jelikož byly dodrženy všechny podmínky ČSN EN 13741 o Přejímací zkoušce tepelného výkonu mokrých chladicích zařízení s umělým tahem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PÁV, Arnošt. *Provoz a opravy parních turbin a příslušenství*. Praha: Ministerstvo energetiky a vodního hospodářství, 1959.
- [2] Aktualita. *Chladicí věže Praha a.s.* [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.chv-praha.cz/?q=aktualita/65>
- [3] Chladicí věže MIK 10 - I. *Průmyslové chlazení - chladicí okruhy* [online]. Praha [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.mikroveze.cz/files/mik10-I.jpg>
- [4] MIKYŠKA, Ladislav. *Chladicí věže: provoz a údržba*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1989. Knižnice technických aktualit.
- [5] Betonová chladicí věž s přirozeným tahem. *FANS: Complete technology* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.fans.cz/co-d-lame/vyroba-a-dodavky-chladicich-v-zi-a-za-izeni/betonova-chladici-vez-s-prirodenym-tahem/>
- [6] ŠAPOŠNIKOV, Vsevolod Vladimirovič, František POMAJZL a Ivo POSSELT. *Atmosférické chladiče a chladicí věže*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury.
- [7] Chladicí věže JE Temelín. *Atom Info* [online]. 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: http://atominfo.cz/wp-content/uploads/2015/07/temelin_jaderna_elektrarna.jpg
- [8] Naši partneři - Modupol. *Sultrade* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.sultrade.cz/prumyslove-chlazení-a-klimatizace/>
- [9] Cooling Tower Fan & Motors. *Pacificoneassociates* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: http://pacificoneassociates.com/images/photo%20pic/app_cooling-tower.gif
- [10] *Chladicí věže: prospekt*. Praha: Chladicí věže Praha a.s.
- [11] Rankine-Clausiusův oběh (R-C oběh; parní oběh). *Transformační technologie* [online]. Litobratřice [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/tepelne-obehy-a-jejich-realizace.html>
- [12] THERMODYNAMICS - THEORY: Rankine cycle - the Ideal Cycle for Vapor Power Cycle. *ECourses: Online Engineering Course Management System* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.ecourses.ou.edu/cgi-bin/ebook.cgi?topic=th&chap_sec=10.1&page=theory
- [13] NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02409-1.

- [14] Clausius - Rankinův cyklus. *Střední průmyslová škola Kolín* [online]. Kolín, 2014 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/TERMOMECHANIKA_INTERNET_DOC/26_Clausius_Rankinuv_cyklus.pdf
- [15] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Tepelné elektrárny a teplárny*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [16] VILIMEC, Ladislav. *Stavba kotlů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1999. ISBN 80-7078-427-X.
- [17] Tepelné turbíny a turbokompresory: Parní turbíny. *Transformační technologie* [online]. Litobratřice [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/tepelne-turbiny-a-turbokompresory.html>
- [18] Napájecí čerpadla. *Aqua styl* [online]. Držovice [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.aqua-styl.cz/produkty-a-sluzby/energetika/napajeci-cerpadla/>
- [19] Vysokotlaká napájecí čerpadla CHN. *Čerpací a závlahová technika* [online]. Náměšť na Hané [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.doos.cz/down/cz/14.pdf> Tepelné turbíny a turbokompresory. *Transformační technologie* [online]. Litobratřice [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/tepelne-turbiny-a-turbokompresory.html>
- [20] *Přejímací zkoušky tepelného výkonu mokrých chladicích věží s umělým tahem*. Český normalizační institut. Praha, 2004.
- [21] MISKOVÝ ANEMOMETR PRO MODEL WS 1600 TX23. *Hodinky.365.cz* [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.hodinky-365.cz/miskovy-anemometr-pro-model-ws-1600-tx23-x170209>

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek č. 2.1: Rozdělení chladicích věží [2, 3]	2
Obrázek č. 2.2: Chladicí věže Interson v Jaderné elektrárně Temelín [7]	7
Obrázek č. 2.3: Řazení ventilátorových chladicích věží do sekcí [8]	8
Obrázek č. 2.4: Ventilátorová jednotka s elektromotorem [9]	12
Obrázek č. 2.5: Schéma hlavních částí mikrochladiče [10]	13
Obrázek č. 2.6: Schéma mikrochladiče SAV 10 [10]	15
Obrázek č. 2.7: Schéma mikrochladiče SAV 32 [10]	17
Obrázek č. 3.1: Schéma ideálního RC cyklu s CHÚV [13]	20
Obrázek č. 3.2: Ideální Rankin – Clausiův cyklus v TS diagramu [15]	21
Obrázek č. 3.3: Miskový anemometr [21]	29
Obrázek č. 4.1: Interpolace dat pro teplotní rozpětí 6,45 °C	43

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka č. 2.1: Základní výkonové parametry mikrochladiče SAV 10 [10]	15
Tabulka č. 2.2: Základní výkonové parametry mikrochladiče SAV 32 [10]	17
Tabulka č. 3.1: Doporučený počet a rozmístění míst měření [20]	27
Tabulka č. 3.2: Přípustné odchylky zaručených hodnot u přejímacích zkoušek [20]...	28
Tabulka č. 3.3: Doporučená četnost odečítání hodnot u přejímací zkoušky [20]	30
Tabulka č. 3. 4: Přípustné odchylky měřicích zařízení během přejímací zkoušky [20]	34
Tabulka č. 4.1: Základní parametry chladicí věže Marley Fiberlass	37
Tabulka č. 4.2: Průměrné naměřené hodnoty z pětiminutových intervalů.....	38
Tabulka č. 4.3: Chyby v důsledku odchylky měření.....	43
Tabulka č. 4.4: Odchylky použitých měřicích přístrojů.....	44

SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf č. 4.1: Časový průběh teplot suchého teploměru	39
Graf č. 4.2: Časový průběh průtoku vody chladicí věže	39
Graf č. 4.3: Časový průběh teplot mokrého teploměru	40
Graf č. 4.4: Časový průběh příkonu ventilátoru	40
Graf č. 4.5: Časový průběh relativní vlhkosti	41
Graf č. 4.6: Regresní přímky pro průtok $1441 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$	42
Graf č. 4.7: Regresní přímky pro průtok $1297 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$	42

SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍLOH

Příloha A – Výkonové křivky výrobce ventilátorové chladicí věže

Příloha B – Interpolace dat – Garantovaná teplota studené vody.

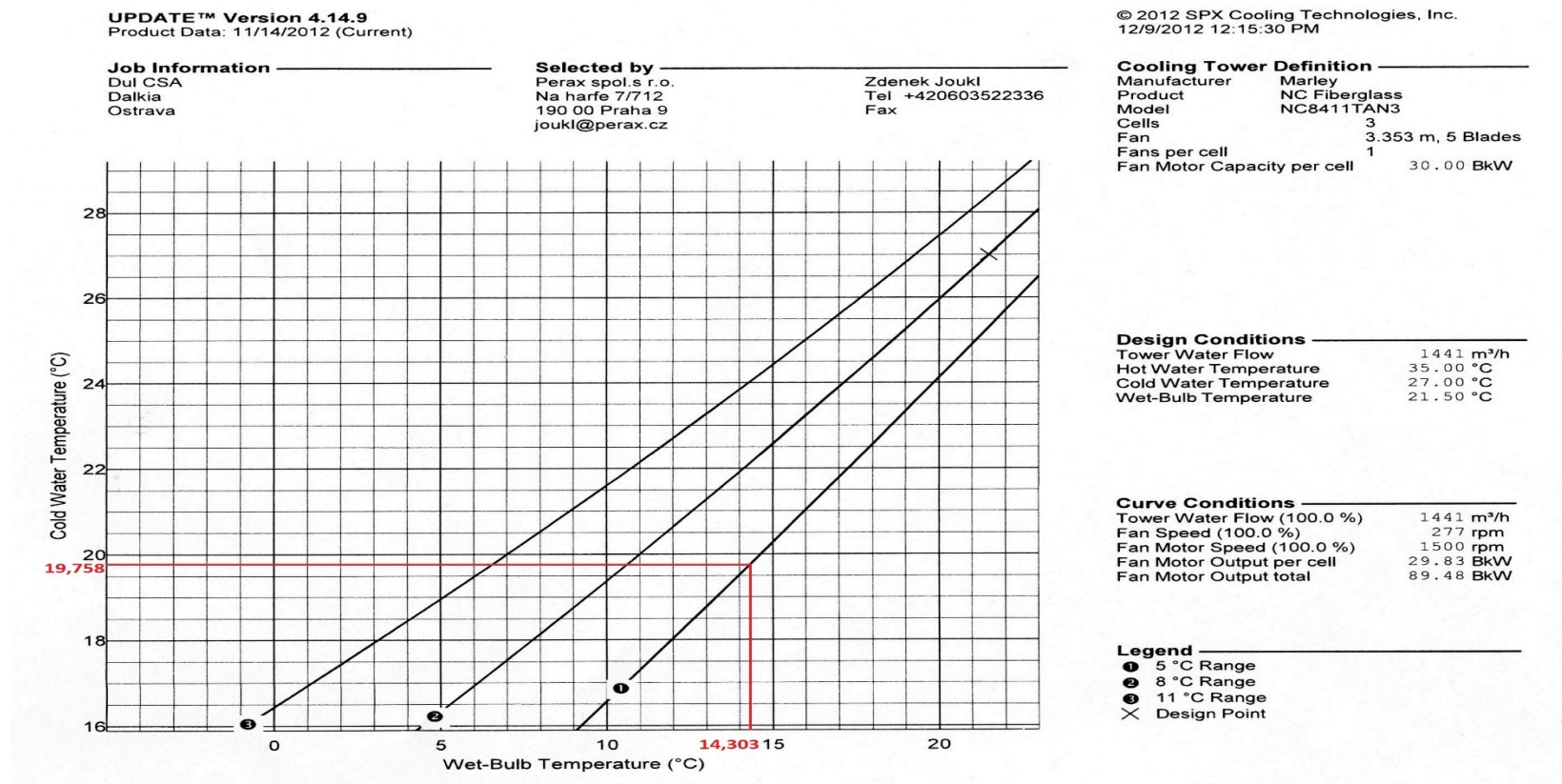
Příloha C – Přípustné odchylky zkoušky

Příloha D – Protokol přejímací zkoušky

PŘÍLOHY

Příloha A – Výkonové křivky výrobce ventilátorové chladicí věže

I.) Průtok 1441 m³·hod⁻¹ (480,34 m³·hod⁻¹ – jedna buňka)



II.) Průtok 1297 m³·hod⁻¹(432,34 m³·hod⁻¹ - jedna buňka)

UPDATE™ Version 4.14.9
Product Data: 11/14/2012 (Current)

Job Information

Dul CSA
Dalkia
Ostrava

Selected by

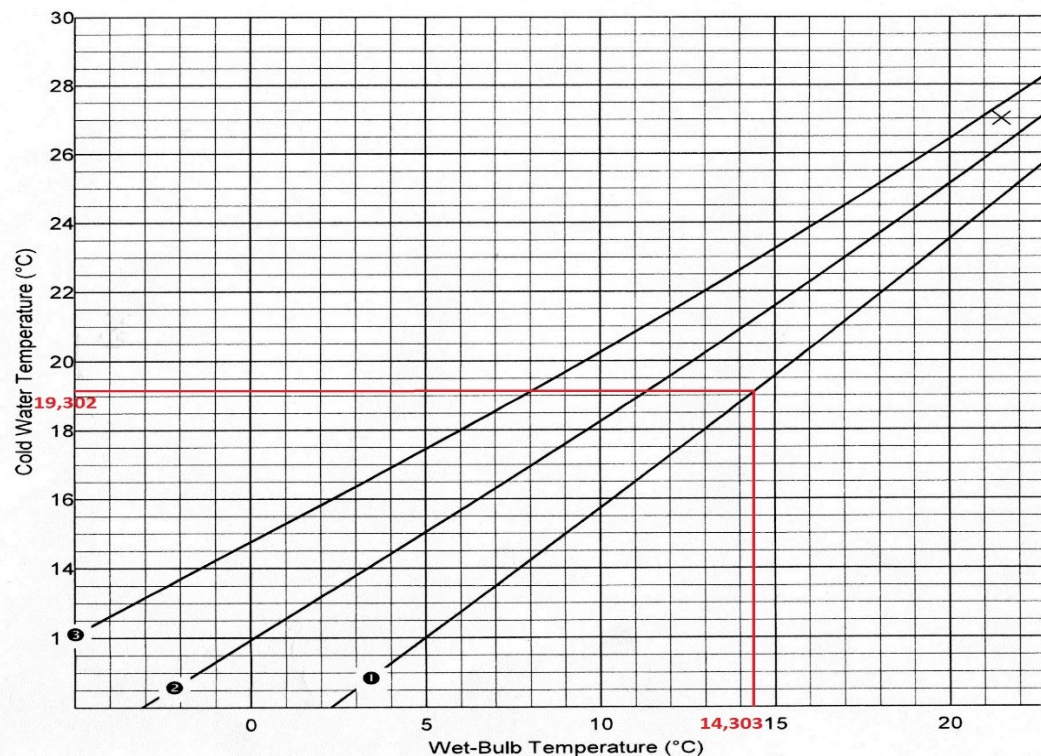
Perax spol.s r.o.
Na harfe 7/712
190 00 Praha 9
joukl@perax.cz

Zdenek Joukl
Tel +420603522336
Fax

© 2012 SPX Cooling Technologies, Inc.
12/9/2012 12:46:45 PM

Cooling Tower Definition

Manufacturer Marley
Product NC Fiberglass
Model NC8411TAN3
Cells 3
Fan 3.353 m, 5 Blades
Fans per cell 1
Fan Motor Capacity per cell 30.00 BkW



Design Conditions

Tower Water Flow 1441 m³/h
Hot Water Temperature 35.00 °C
Cold Water Temperature 27.00 °C
Wet-Bulb Temperature 21.50 °C

Curve Conditions

Tower Water Flow (90.0 %) 1297 m³/h
Fan Speed (100.0 %) 277 rpm
Fan Motor Speed (100.0 %) 1500 rpm
Fan Motor Output per cell 29.83 BkW
Fan Motor Output total 89.48 BkW

Legend

- ① 5 °C Range
- ② 8 °C Range
- ③ 11 °C Range
- × Design Point

Příloha B – Interpolace dat – Garantovaná teplota studené vody

Interpolace – Garantovaná teplota studené vody										
k	Teplota mokrého teploměru [°C]	Teplotní rozpětí [°C]	Průtok 480,33 [m ³ ·hod ⁻¹]			Průtok 432,33 [m ³ ·hod ⁻¹]			Naměřený průtok [m ³ ·hod ⁻¹]	Garantovaná teplota studené vody [°C]
			Pro přímku 5 °C	Pro přímku 8 °C	Interpolace pro teplotní rozpětí [°C]	Pro přímku 5 °C	Pro přímku 8 °C	Interpolace pro teplotní rozpětí [°C]		
1	14,303	6,450	19,758	22,203	20,940	19,302	21,171	20,205	446	20,414
2	14,487	7,209	19,899	22,325	21,685	19,433	21,288	20,799	444,93	21,032
3	14,362	6,905	19,804	22,242	21,352	19,344	21,208	20,528	444,722	20,741
4	14,285	7,043	19,744	22,191	20,772	19,289	21,160	20,563	445,915	20,622
5	14,59	7,241	19,979	22,394	21,783	19,507	21,353	20,886	433,223	20,903
6	14,608	7,132	19,992	22,406	21,708	19,520	21,365	20,831	436,601	20,909
7	14,788	7,476	20,131	22,526	22,108	19,648	21,479	21,159	442,671	21,363
8	14,619	7,450	20,001	22,413	21,971	19,528	21,372	21,034	442,948	21,241
9	14,284	6,972	19,744	22,190	21,352	19,288	21,159	20,518	444,097	20,722
10	14,321	7,566	19,772	22,215	21,862	19,315	21,182	20,912	440,555	21,075
11	14,461	7,723	19,880	22,308	22,084	19,415	21,271	21,090	434,862	21,142
12	14,275	7,713	19,737	22,184	21,950	19,282	21,153	20,974	428,064	20,887
13	14,485	7,707	19,898	22,324	22,087	19,432	21,287	21,106	438,671	21,236
14	14,446	7,634	19,868	22,298	22,002	19,404	21,262	21,035	439,497	21,179
Ø	14,451	7,302	19,872	22,301	21,690	19,408	21,265	20,831	440,197	20,962

Příloha C – Přípustné odchylky zkoušky

Přípustné odchylky zkoušky										
k	Studená voda [°C]		Δt_k [K]	Δt_a [K]	$S_{\Delta t_k}$ [K]	δt_r [K]	δt_s [K]	δt_m [K]	δt_b [K]	δt_t [K]
	Naměřená	Garantovaná								
1	21,026	20,414	0,612	-0,158	0,391	0,226	0,271	0,353	0,200	0,553
2	20,433	21,032	-0,599							
3	20,780	20,741	0,039							
4	20,759	20,622	0,137							
5	20,655	20,903	-0,248							
6	20,825	20,909	-0,084							
7	20,701	21,363	-0,662							
8	20,838	21,241	-0,403							
9	21,313	20,722	0,591							
10	20,794	21,075	-0,281							
11	20,750	21,142	-0,392							
12	20,735	20,887	-0,152							
13	20,776	21,236	-0,460							
14	20,871	21,179	-0,308							

Příloha D – Protokol přijímací zkoušky

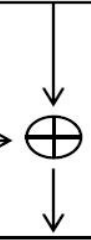
Přijímací zkouška standartizovaných chladicích věží s umělým tahem

Model: Marley Fiberlass	Poznámky: Naměřená průměrná rychlost větru během zkoušky, $c = 3,471 \text{ m.s}^{-1}$
Umístění: Ostrava	
Dodavatel: -	
Datum: -	
Zkoušku provedl: -	

Přípustná odchylka zkoušky

Chyba způsobená nezměřitelnými systematickými odchylkami provozních parametrů

Přípustné odchylky přístrojů			
Teplota mokrého teploměru	ε_{t_w}	K	0,1
Teplota vody	ε_t	K	0,1
Průtok vody	ε_m	%	2
Nahromaděná chyba	δt_s	K	0,271
<i>Chyba způsobená náhodnou odchylkou výsledku měření</i>			
Standartní odchylka	$s\Delta t_k$	K	0,391
Číslo výzkumníka pro 95%	St		2,160
Přípustná odchylka způsobená náhodnými odchylkami	δt_r	K	0,226
<i>Stanovení přípustné odchylky zkoušky</i>			
Přípustná odchylka způsobená odchylkami	δt_m	K	0,353
Přípustná odchylka zkoušky	δt_T	K	0,553
Výsledek zkoušky	Δt_a	<	δt_T

Vliv nejistot měření (odvozený z výkonové křivky)			
ϕ_w	0,7555	K/°C	= $\phi_w * \varepsilon_{t_w}$ 0,076 K
ϕ_z	0,8	K/°C	= $\phi_z * 2 * \varepsilon_t$ 0,16 K
ϕ_m	0,09	K/1%	= $\phi_m * \varepsilon_m$ 0,18 K
			
		0,2	K Základní tolerance
Chladicí věž funguje podle předpokladů			